



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

# MEJORA CONTINUA: PROPUESTA DE PROCESO PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS POR METODOLOGÍA DMAIC

GUILLERMO JESÚS FLORES LÓPEZ

PROFESORES GUÍAS: CRISTIAN PALMA PhD & JORGE CONTRERAS MIIS.

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

SANTIAGO – CHILE  
2020



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

# MEJORA CONTINUA: PROPUESTA DE PROCESO PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS POR METODOLOGÍA DMAIC

**POR: GUILLERMO JESÚS FLORES LÓPEZ**

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**PROFESOR GUÍA 1: CRISTIAN PALMA PH. D**

**PROFESOR GUÍA 2: JORGE CONTRERAS MIIS**

**PROFESOR INTEGRANTE 1: FELIPE MORGAN MBA**

**PROFESOR INTEGRANTE 2: GUSTAVO CANEPA MDO**

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería  
Industrial y de Sistemas.

Diciembre, 2020  
Santiago, Chile

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **MEJORA CONTINUA: PROPUESTA DE PROCESO PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS POR METODOLOGÍA DMAIC**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o coautoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'G' followed by several loops and a horizontal line extending to the right.

GUILLERMO JESÚS FLORES LÓPEZ

Firma

*A mi familia y amigos, que con su apoyo y paciencia  
han hecho posible mi crecimiento personal y profesional en este proceso,  
con especial énfasis a quienes han velado  
por mi felicidad y bienestar en todo momento,  
para ellos infinitas gracias.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todo el cuerpo docente que directa e indirectamente me han nutrido de conocimientos y entregado herramientas para realizar mi desarrollo profesional, personal y que hoy se traduce en este trabajo. Agradecido con ellos por haber compartido sus experiencias tanto laborales como personales y con ello formar nuevas ideas para enfrentar la vida. De igual forma, reconocer a mis compañeros quienes siempre mantuvieron disposición para otorgarme de su tiempo y soporte en las ocasiones que la carrera de postgrado se hacía más difícil. Agradezco a quienes se convirtieron en amigos míos en este Magister y que de ellos aprendí lecciones y distintas visiones de cómo afrontar los desafíos venideros.

A mis jefaturas en los distintos lugares donde me he desempeñado, quienes me dieron las facilidades para integrarme a la UDD, en un rubro donde las distancias, los turnos y viajes de trabajo hacen complicado retomar el ritmo académico.

Correspondo de todo corazón a mí familia, quienes me han apoyado en cada decisión que he tomado, que me han aconsejado cuando lo he necesitado, porque han sido una luz cuando las noches se hacían más oscuras, y finalmente porque sin ellos no sería lo que soy, un hombre feliz. Agradezco que hayan tenido la fortaleza para soportar la distancia, la lejanía y el tiempo en el cual no estuve presente junto a ellos, ya sea en alguna ocasión especial o en los días que la nostalgia golpea más fuerte.

Finalmente, a mis amigos de toda la vida, quienes han sido una fuente de inspiración para tomar el camino del eterno estudiante, que sin vacilar me acogieron en su hogar sin esperar nada a cambio y quienes recuerdo siempre con una sonrisa.

A todos los que han hecho posible el éxito de esta travesía, mis más sinceros agradecimientos.

# MEJORA CONTINUA: PROPUESTA DE PROCESO PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS POR METODOLOGÍA DMAIC

Guillermo Jesús Flores López

Bajo la supervisión de los profesores Cristian Palma, PhD & Jorge Contreras MIIS en la Universidad del Desarrollo de Chile.

## *Resumen*

Este trabajo presenta un análisis para los procesos de formulación y definición de proyectos en línea con la búsqueda de oportunidades de mejora del desempeño económico de la Gerencia de procesos de la Compañía Minera Ojos del Salado. El objetivo de este trabajo es proponer un proceso y herramientas de mejora continua que permita la valoración crítica, estructurada y lógica en la formulación y definición de proyectos de la planta concentradora de cobre y que facilite la generación de valor en la organización. Para lograrlo, se propone una aproximación mixta basada en un enfoque de investigación de acción dentro del diseño de exploración de un caso de estudio particular con el fin de ilustrar la aplicación del marco DMAIC propuesto para la optimización del proceso de mejora continua. Los resultados indican que la implementación de DMAIC como metodología para formular y definir proyectos, generó las condiciones que permitió generar una serie de cambios tecnológicos y administrativos en la etapa unitaria de molienda, que logró un incremento de 3% de libras de cobre producido. En síntesis, la implementación de la metodología DMAIC para la formulación y definición de proyectos de mejora continua puede adoptarse para consideraciones en la industria basada en procesos, como plantas concentradoras de mediana-pequeña minería y cualquiera de sus unidades productivas, permitiendo procesos estructurados, lógicos y más eficientes que facilitan la generación de valor.

PALABRAS CLAVE: Lean; Gestión de Procesos; Herramientas de calidad, Gestión de Operaciones; Formulación de Proyectos.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1	MEJORAMIENTO CONTINUO EN PROYECTOS MINERO-METALÚRGICOS. ....	12
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA .....	13
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO .....	21
1.4	OBJETIVO GENERAL .....	22
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i> .....	22
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA .....	22
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO.....	28
<b>2</b>	<b>PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA</b>	
	<b>SELECCIONADA .....</b>	<b>29</b>
2.1	PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO .....	29
2.2	METODOLOGÍA DMAIC.....	33
2.2.1	<i>Etapa definir:</i> .....	35
2.2.2	<i>Etapa medir:</i> .....	39
2.2.3	<i>Etapa análisis:</i> .....	46
2.2.4	<i>Etapa Mejora y Control:</i> .....	50
2.3	CONCLUSIÓN Y ANÁLISIS DEL CAPÍTULO .....	50
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
3.1	CONCLUSIÓN Y ANÁLISIS DEL CAPÍTULO .....	65
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>66</b>
4.1	PROPUESTAS PARA TRABAJOS FUTUROS. ....	68
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: HERRAMIENTAS DE CALIDAD EN RELACIÓN CON EL NUMERAL U OBJETO DE USO. ....	17
TABLA 2: INDICADORES PRINCIPALES DE PRODUCCIÓN EN PLANTA PAC. ....	32
TABLA 3: 6 PREGUNTAS BÁSICAS PARA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. ....	36
TABLA 4: FOCO DE REQUISITOS DEL CLIENTE/NEGOCIO ....	37
TABLA 5: DIAGRAMA SIPOC PROCESO OPERACIONAL DE MOLIENDA. ....	40
TABLA 6: PLAN DE DATOS PARA LA CAPTURA DE DATOS DESDE SERVIDORES. ....	42
TABLA 7: TABLA EFECTO PROBLEMA ISHIKAWA. ....	47
TABLA 8: HERRAMIENTA 5 ¿POR QUÉ? ....	49
TABLA 9: TORMENTA DE IDEAS CON ANÁLISIS DE DIFICULTAD E IMPACTO. ....	53
TABLA 10: RESUMEN DE SOLUCIONES DE INGENIERÍA DEFINIDAS PARA IMPLEMENTACIÓN. ....	55
TABLA 11: RESUMEN DE SOLUCIONES ADMINISTRATIVAS DEFINIDAS PARA IMPLEMENTACIÓN. ....	56
TABLA 12: CUMPLIMIENTO KPI GENERAL TURNOS DE LA PLANTA CONCENTRADORA ....	61
TABLA 13: INDICADORES PRINCIPALES POR TURNOS EVALUADOS DURANTE EL MES, RECORTADO HASTA DÍA 15. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PROCESO PRODUCTIVO PLANTA PEDRO AGUIRRE CERDA, COMPAÑÍA MINERA OJOS DEL SALADO.....	30
FIGURA 2: METODOLOGÍA DMAIC, PASOS RESOLUCIÓN PROBLEMA.....	34
FIGURA 3: DIAGRAMA DE PROCESO MEJORA CONTINUA DMAIC.....	37
FIGURA 4: PROJECT CHARTER PLANTA PAC.....	38
FIGURA 5: ECOSISTEMA DEL PROBLEMA EN PLANTA PEDRO AGUIRRE CERDA.....	41
FIGURA 6: TASA DE RENDIMIENTO DE MOLIENDA (TPH); ML2 Y ML3 BOXPLOT.....	43
FIGURA 7: HISTOGRAMA DE RENDIMIENTO (TPH), ML2 Y ML3.....	44
FIGURA 8: TOMA MUESTRA DE ADICIÓN DE MEDIOS DE MOLIENDA; PLAN V/S REAL.....	45
FIGURA 9: DIAGRAMA DE ISHIKAWA, DIFERENCIA TRATAMIENTO ML2 Y ML3.....	48
FIGURA 10: DIAGRAMA DE IMPACTO DE INICIATIVAS DE MEJORA CONTINUA.....	54
FIGURA 11: INFORME A3 PRESENTACIÓN Y SEGUIMIENTO DE PROYECTOS.....	57
FIGURA 12: COMPARATIVA TPH EN MOLINO N2 ANTES Y DESPUÉS DE CAMBIO DE MOTOR EN BOXPLOT.....	58
FIGURA 13: COMPARATIVA TPH ML2 ANTES Y DESPUÉS DE CAMBIO DE MOTOR POR MEDIO DE HISTOGRAMA.....	59
FIGURA 14: COMPARATIVA TPH ML2 Y ML3 POSTERIOR A CAMBIO DE MOTOR POR GRÁFICA BOXPLOT.....	60
FIGURA 15: COMPARATIVA TPH ML2 Y ML3 POSTERIOR A CAMBIO DE MOTOR POR HISTOGRAMA.....	60
FIGURA 16: EJEMPLO DE GRÁFICA DE CONTROL PARA ETAPA DE MOLIENDA.....	63
FIGURA 17. IMPACTO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE ECOSISTEMA DE STAKEHOLDERS.....	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: UBICACIÓN GEO REFERENCIAL PLANTA AC, REGIÓN DE ATACAMS.....	77
ANEXO 2: UBICACIÓN GEO REFERENCIAL PLANTA PAC DE TIERRA AMARILLA Y CCMC. ....	78
ANEXO 3: UBICACIÓN GEO REFERENCIAL PLANTA DESALINIZADORA EN PUERTO PADRONES, CALDERA. ....	79
ANEXO 4: ORGANIGRAMA OPERACIONAL PLANTA PAC.....	80
ANEXO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA CAMBIO MOTOR MOLINO 2. ....	81

## **1 INTRODUCCIÓN**

La industria minera hoy se encuentra con el desafío de producir de manera eficiente con objeto de lograr ser sostenible en el tiempo, se le ha impuesto como un valor producir de forma segura y con estricto cuidado del medio ambiente, pensando en el desarrollo de sus comunidades y zonas de influencia, con márgenes de costos razonables que permitan un retorno adecuado a los inversionistas que finalmente permiten generar ingresos a las arcas fiscales del país, (Kęsek, Bogacz y Migza, 2019). El escenario mundial actual es Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo (VICA), (Terlato, 2019), en forma particular se ha visto reflejada en fuertes incrementos en los costos productivos, una reducción en la productividad y un inestable bajo precio de los metales. En el caso de nuestro país la caída de la producción generó un impacto negativo en nuestro Producto Interno Bruto (PIB) sectorial de un 2,3% en el año 2019, comparándose con los resultados del año 2011. Lo anterior trajo como resultados el 2019 un aporte al fisco 9,1% menor que en años anteriores, por lo que es importante recalcar la importancia de la productividad minera en el crecimiento del país, (Lindhorst y Baghetti, 2019). Durante los últimos años la reducción de la calidad del mineral y la alta heterogeneidad entre faenas locales, especialmente relacionado a sus procesos ha generado mermas productivas del 0,41% de la economía, (Pesce et al., 2019).

Queda de manifiesto una imposición general en las empresas por lograr cuotas cada vez más altas de rentabilidad sin descuidar la excelencia en calidad de productos y satisfacción a sus clientes internos y externos. Es de menester sentar las bases para realizar cambios culturales, administrativos, técnicos y tecnológicos para seguir siendo competitivos en los próximos decenios. La industria minera, si bien se describe en el mundo empresarial como conservadora, no se ha quedado atrás y entiende que la mejora continua ya no es una opción, por lo que ha optado por la implementación de prácticas y herramientas que generen mejoras en la planificación y programación de la operación, la estandarización de procesos, la gestión del

desempeño y la mejora continua desde el nivel operativo hasta el estratégico. Dentro de esta amalgama de metodologías existentes en mejora continua podemos encontrar la filosofía Lean Management de Procesos, (Pardo, 2016).

La aplicación de Lean Management no se excluye de ninguna industria, ya que trata principalmente en la aplicación de principios de gestión que originalmente implementaría la empresa TOYOTA en sus departamentos de producción. Esta metodología ha sido un referente base para la industria general por décadas ya que permite abordar la mejora del desempeño por medio de la reducción de desperdicios en los procesos de producción con el fin de aumentar el valor del negocio para el cliente. Las empresas en ocasiones adolecen de procesos que permitan manifestar y valorar de manera ágil, organizada y crítica los proyectos de mejora continua en sus procesos operacionales. Dicha deficiencia genera lentitud en procesos que conlleva a perder oportunidades en reducir costos, aumentar la calidad del producto final, incrementar el margen de utilidad, el incrementar la coherencia estratégica, carencias que traen consigo pérdida de incentivos transversales para los stakeholders principales de la empresa, así como la falta de compromiso entre otros, (Marulanda y Echandía, 2019).

En la minería nacional son varias las empresas que ya sostienen procesos sustentados en metodología Lean (Villarroel, 2015), casos como la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) que han integrado en su gestión estratégica y operacional esta metodología por medio de sus sistemas de Gestión C+ o Antofagasta Minerals por medio de su Gerencia de Excelencia Operacional, solo por mencionar algunas de ellas, (Parada, 2020). Sin embargo, algunas compañías por diversos motivos de orden principalmente estratégico no han implementado estas metodologías en sus sistemas de gestión, ya sea en forma particular en la gestión de procesos, calidad, operaciones o proyectos. Para Minera Ojos del Salado en su Planta Pedro Aguirre Cerda (Planta PAC) específicamente en su Gerencia de Procesos la formulación y evaluación de proyectos no está amparado bajo ninguna metodología

o herramienta formal que le permita abordar los problemas y generar espacios para el análisis de oportunidades dentro de la operación, con el fin de generar mejoras incrementales y sostenibles en el tiempo.

Para el presente trabajo se propone una herramienta metodológica de mejora continua de procesos, por medio de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), parte de Lean Management, que permite poder abordar los procesos de formulación de proyectos de manera estructurada, lógica y simplificada permitiendo de forma práctica la resolución de problemas que se revelan en la empresa con el objetivo de rentabilizar el negocio, hacerlo competitivo y sostenible.

### **1.1 Mejoramiento Continuo en proyectos minero-metalúrgicos.**

Dado lo anterior es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son los elementos de acción operativa que permiten llevar a cabo un desarrollo efectivo en la formulación y definición de proyectos de mejora continua de una planta concentradora de la mediana minería?

La Planta Pedro Aguirre Cerda, ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama produce y vende concentrado de cobre fino a clientes como ENAMI y Transfigura. El año 2017 se había establecido una tasa de procesamiento de mineral de 3658 toneladas por día con una recuperación de cobre de 93,5% considerando la venta de 27338 Kilo-libras (klb) de cobre, de los cuales se procesaron 3507 toneladas por día con una recuperación de 93,36% logrando una venta de 26625 klb. Con antecedentes negativos de producción e incumplimiento de objetivos, se esperarían análisis y planes que permitieran cambios en la manera de cómo son realizadas las actividades para llegar al cumplimiento de metas, sin embargo, en cuanto a los proyectos de mejoramiento continuo desarrollados durante el 2017 no hubo propuestas formales hacia la Gerencia de procesos, solo se levantaron proyectos informales que no tenían un análisis de generación de valor profundo y que no convergían en resolver los problemas principales de la planta. Tampoco existían los recursos y conocimiento para formular de manera crítica proyectos que

permitieran lograr los objetivos operacionales de la planta de procesamiento de mineral y que generaran incremento en los márgenes de ganancia de la empresa o mitigasen los impactos del negocio en su ambiente y comunidades para hacerla competitiva y sostenible en el tiempo.

## **1.2 Breve discusión de la literatura**

Para ayudar a mejorar la competitividad y rendimiento de las empresas se requiere de herramientas y metodologías de la gestión de la calidad. Los claros beneficios de la gestión de la calidad han convencido a muchas organizaciones a implementar sistemas de gestión de la calidad y mejora de procesos. (Peris y Alvarez 2014). Debido a ello han surgido una serie de métodos de gestión de la calidad relacionados con la mejora de procesos, como Seis Sigma, Total Quality Management (TQM), KAIZEN, gestión de procesos empresariales y normativas como la ISO 9000 relacionado a la calidad y la ISO 9004 extensible a los procesos de mejora continua, (Graafmans, Turetken, Popelaars y Fahland, 2020).

En las empresas, es muy importante lograr y mantener un impacto financiero que les permita ser competitivos en el largo plazo, cuidando aspectos financieros, operacionales, medio ambientales y velando la imagen corporativa ante sus stakeholders comunitarios. Poder mantener el performance financiero en los tiempos actuales, que han traído incertidumbre y volatilidad política, social y económica, se vuelve bastante complicado, con precios de insumos estratégicos variables con tendencia al alza y minerales con menor ley se vuelve sumamente importante formular y desarrollar de manera correcta proyectos alineados a la estrategia de la empresa y que permitan reducir los costos o mejorar la productividad de las empresas y así mejorar su posición competitiva, (Gonzales, 2019).

### **Mejora Continua: Teoría y definiciones.**

La mejora continua a nivel general se entiende como una filosofía que tiene como fin de mejorar el día a día, esto puede ser llevado a múltiples niveles y áreas, mejoras de calidad, de seguridad, de costos, de satisfacción, tiempos entre ciclos, tiempos de respuesta, etc. Definiciones hay muchas, como Deming, Harrington, Abel y otros autores han documentado, pero encuentran coincidencias en que es un proceso que activa los impulsos necesarios para hacer más competitivas las organizaciones a lo largo del tiempo, (Esquivel, León y Castellanos, 2017) En negocios se entiende como la estrategia de gestión, originada en Japón, basada en el precepto de que todos en la organización deben estar involucrados en la mejora progresiva de los procesos internos. La mejora continua desarrolla herramientas que facilitan y permiten la optimización de procesos generando valor al negocio en el resultado global, significa no solo la implantación de modelos si no un aprendizaje constante para mejorar los procesos de la organización. Esta filosofía se embarca en la generación de cambios incrementales en los procesos internos para reducir desperdicios y que genera un espiral de innovación en las organizaciones, (Espinoza, 2020). Es un proceso evolutivo que resuelve pequeños problemas pero que va consiguiendo hitos cada vez mayores, y cuya implementación contribuye a eliminar o reducir debilidades y afianzar fortalezas o captar oportunidades, logrando mayor competitividad dentro del mercado en cuestión, (Cusco y Sánchez, 2019). El involucramiento de directivos, gerentes y trabajadores en la mejora continua como equipos de trabajo pueden resolver problemas que puedan contribuir al logro organizacional y suelen plantear desafíos de sostenibilidad de mejora en el tiempo, lo anterior es posible por medio de técnicas y herramientas administrativas que mejoran y mantienen un estándar por medio de resultados progresivos, (Ramirez y Pumisacho, 2017). Los seis modelos de mejora continua más utilizados son según (Esquivel, León y Castellanos, 2017): Modelo Europeo de Excelencia Empresarial (EFQM), de 1991; Método de Deming, de 1989; Modelo Kaizen, de 1986.; Modelo, Seis-Sigma, de 1986; Modelo Siete Pasos, de 1992 y Modelo Crosby, de 1996. La mayoría de las metodologías

indican de alguna manera similar lo que se debe realizar de manera general, esto es: Obtener datos, observar variables, registrarlas y analizarlas, analizar la causa raíz e identificar la oportunidad de mejora, para finalmente proponer soluciones que contemplen finalmente un plan implementación y control, (Zaldumbide, 2019).

### **Mejorar los procesos: La piedra central operativa de las organizaciones.**

Procesos, del latín processus o progreso, es definido como un conjunto de actividades caracterizada como lógica y sistemática que permite la transformación de un conjunto de entrada, que se caracteriza por requerir ciertos insumos (Minaya, 2020), en un producto o servicio como elemento de salida, con la intención de generar valor a la organización y a sus clientes, (Iñiguez, 2020). Un aspecto importante de los procesos es que en su particular se agrupan sinérgicamente para brindar procesos generales, de esta manera hacer funcionar organizaciones sin dejarse llevar por la inercia, (Segura, Carrillo, Santa Maria y Gamboa 2019).

Cuando se mejora un proceso, se mejora el trabajo, los resultados, la capacidad de producir resultados en un menor tiempo, genera mayor confiabilidad en los procesos, se reducen los costos o se mejoran cualitativamente la percepción del cliente final entre otros resultados posibles, por otro lado, a nivel organizacional permitirá el crecimiento del equipo a nivel profesional e incrementará su motivación para la búsqueda de nuevas oportunidades, (Zaldumbide, 2019).

### **Metodología Seis Sigma DMAIC: Teoría y definiciones.**

Una de las metodologías de calidad que ha ido creciendo en su uso en las últimas décadas es el Seis Sigma, (Graafmans, Turetken, Popelaars y Fahland, 2020). Es una metodología estructurada asentada en datos para reducir la variación, medir defectos, mejorar productos, procesos y servicios, así como el rendimiento de las empresas, (Uluzkan y Oda, 2019). La metodología DMAIC consta de 5 pasos o etapas, que suelen ser similares al ciclo de Deming (Planificar, Hacer; Verificar y Actuar), la inclusión de métricas para medir partes del proceso y la mejora del proceso propiamente tal, en comparación con otros métodos DMAIC destaca por el uso de estadísticas para realizar análisis de datos., (Improta et al, 2017). Subsecuentemente

las empresas tomaron esta metodología para plantear resolver sus propias actividades y problemas. Según Tsarouhas (2020) DMAIC ha logrado reducción de costos y mejora la calidad de sus procesos tanto en empresas pequeñas, medianas y grandes en donde se enfoca en temas concretos con variables medibles y trazables y motiva a los líderes de empresas a conseguir resultados por medio de equipos de trabajo que utilizan herramientas estadísticas y no estadísticas como la aplicación de algunas herramientas como Lean, gestión visual para resolver problemas, (Acosta, Chicaiza, Salvador, Ullauri y Gonzalez 2020), además estos enfoquen en ocasiones introducen subjetividad ya que dependen del conocimiento del equipo involucrado en cada una de las etapas del proceso, quienes podrían llegar a reflejar su propia visión del problema, además de la dificultad de poder capturar toda la complejidad del problema utilizando tales enfoques, (Graafmans, Turetken, Popelaars y Fahland, 2020). Según (Gislbert et al, 2017), el método Seis Sigma es efectivo como estrategia de mejora de la calidad y productividad. Su aplicabilidad depende esencialmente de tener una alta capacidad de liderazgo del equipo, conocimiento en utilización de herramientas de calidad y finalmente la disposición de la gerencia para asignar los recursos necesarios.

La aplicabilidad de la metodología Seis Sigma es abundante en la literatura en industrias como la salud (Christianson, J., Warrick, L., Howard, R., y Vollum, J, 2005), educación (Pavel y Sârbu, 2014), construcción (Park, 2006) y minería (Riffo y Cárdenas, 2019), entre otros.

### **Herramientas de calidad para la búsqueda de optimización de procesos.**

Las herramientas de control de calidad ayudan a clarificar la problemática que se presentan en las empresas a nivel operacional, (Pabón, Estrada, Royero, Osorio, Ruiz Carmona, y Palacio, 2020). Estas herramientas son recomendadas debido que otorgan sistemas de trabajo por procesos con lo que solucionar problemas de baja o mediana complejidad; proporcionan información a cualquier nivel de fácil interpretación y finalmente admiten el control de procesos y de los progresos de proyectos, pudiéndose segregar como herramientas del tipo estadísticas y de

procesos, (Escobar y Serna, 2018). Las principales herramientas de control de calidad para operaciones y mejora continua se pueden ver en la siguiente tabla según la ISO 9001:2015, (ISO, 2015).

Tabla 1: Herramientas de calidad en relación con el numeral u objeto de uso.

Numeral ISO 9001:2015	Técnicas o herramientas de Ingeniería de calidad
<b>8. Operación.</b>	Despliegue de la función de la calidad (QFD), Análisis de Modo de Efectos y Fallos (AMEF), Muestreo e inspección, hojas de verificación, cartas de control, series de tiempo.
8.1. Planificación y control operacional.	QFD, metrología, análisis de la capacidad del proceso, muestreo, fijación de tolerancia estadística, hoja de verificación.
8.3. Diseño y desarrollo de los productos y servicios.	QFD, AMEF, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, metrología, análisis de regresión, análisis de confiabilidad, muestreo, simulación, análisis de series de tiempo, Diseño Concurrente, Análisis de Valor, hoja de verificación.
8.4. Control de los procesos, productos o servicios suministrados externamente.	Muestreo, Inspección, análisis de la calidad del proceso, prueba de hipótesis; metrología; análisis de regresión; análisis de confiabilidad; diseño de experimentos, hoja de verificación, diagrama de Pareto.
8.5. Producción y provisión del servicio.	Investigación de Operaciones, metrología, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión; análisis de confiabilidad, muestreo, gráficos de Control Estadístico de Proceso, análisis de series de tiempo, hoja de verificación.
8.6. Liberación de productos y servicios.	Metrología, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión, muestreo, gráficos de Control Estadístico de Proceso, fijación de tolerancias estadísticas, análisis de series de tiempo, inspección.
8.7. Control de los procesos no conformes a productos y servicios.	Inspección, muestreo, histograma, diagrama e Ishikawa, diagrama de Pareto, graficas de dispersión, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, metrología, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión, análisis de confiabilidad, gráficos de Control Estadístico de Procesos; análisis de series de tiempo, hoja de verificación.
<b>10. Mejora.</b>	
10.1. Generalidades.	Diseño de experimentos, prueba de hipótesis, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión, muestreo; gráficos de control estadístico de procesos, análisis de series de tiempo.
10.2. No conformidades y acciones correctivas.	Diseño de experimentos, prueba de hipótesis, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión, muestreo; gráficos de control estadístico de procesos, análisis de series de tiempo. Diagrama Causa Efecto, Diagrama de Pareto, histograma, hoja de verificación
10.3. Mejora continua.	Diseño de experimentos, prueba de hipótesis, análisis de la capacidad del proceso, análisis de regresión, muestreo; gráficos de control estadístico de procesos, análisis de series de tiempo. Diagrama Causa Efecto, Diagrama de Pareto, histograma

### Proyectos: Gestión del negocio.

Los proyectos son parte fundamental para la concesión de los objetivos estratégicos de la organización, por ello el éxito de ellos se ha convertido en un tema relevante en los últimos años, (Saenz, Ostos, Bremser y Lizarzaburu, 2019). Se define por ello la

gestión de proyectos como un enfoque sistemático que por medio de la administración de sus recursos, humanos, técnico y económicos permiten asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos, tácticos y operativos de una empresa, (Prado y Orobio 2019). El reto de encarar la gestión de proyecto con múltiples requerimientos y necesidades de distintos stakeholder exige que las metodologías ocupadas sean más ágiles, flexibles, predictivas y eficientes, (Criesperi, 2019).

### **Planificación estratégica, la mirada directiva para la mejora continua.**

El proceso de evaluación sistemática de la naturaleza de un negocio, conocido como planificación estratégica, permite definir objetivos de carácter cuantitativo y definir una hoja de ruta general para lograr los objetivos planteados por la organización (Villón. 2020). La planificación estratégica debe incluir normas y medidas de actuación, planes de acción, indicadores y responsables para lograr alcanzar su éxito, (Basantes, 2020). Este proceso permite generar valor y satisfacción al cliente y también permite comprender la configuración de los procesos del negocio, fortalezas y debilidades, con esto se logra gestionar lo que se necesite ser mejorado o eliminar deficiencias. La gestión del negocio finalmente también requiere una cuota de imaginación para generar valor en la cadena de procesos con el fin de adaptarse a los cambios o exigencias del negocio, (Pérez y Molano, 2020). La planificación estratégica permite crear soportes que permite asumir procesos de cambios de manera efectiva, las organizaciones mejoran su planteamiento para afrontar transformaciones y al mismo tiempo genere las condiciones para la obtención de dividendos, mejorar competitividad y prolongar permanencia en el negocio. Se requiere una buena táctica operacional para canalizar, gestionar y ejecutar la estrategia que promueva por medio de un sentido lógico y estructurado la visión del cliente, (García, Durán, Cardeño, Prieto, García y Paz, 2017).

### **Gestión operacional: Administración en terreno.**

Se entiende la gestión operacional como el administrar las actividades destinadas a establecer los objetivos y administrar los medios para que sean realizados. En la gestión es muy importante la acción, el hacer, porque es la acción la que es capaz de

influir en una situación dada que asegurará el éxito de los objetivos. La gestión operacional es medular en la producción de la organización, el control y la planificación para así obtener un producto de calidad y debido a las necesidades cuantitativas del mercado y la organización, (Vilcarromero, 2017). Para lograr mejoras operacionales importantes a través de la simplificación del sistema y el potencial organizacional, herramientas como Seis Sigma han demostrado ser enfoque universal para lograrlo por medio de mejoras incrementales, (Ghandi, Sachdeva y Gupta, 2019).

### **Escenario de la Minería nacional de cobre.**

Para países como Chile, Perú y Brasil la industria minera es un sector clave para el desarrollo de los países. Durante la historia reciente de Chile, desde la década de los años sesenta hasta fines del 2015, las exportaciones chilenas promediaron cerca de US\$23943 millones, que representan un 21,1% del Producto Interno Bruto (PIB) promedio anualizado (Rodríguez y Vega, 2015). Sin embargo, la actividad minera contribuye hoy solo con el 10,3% del PIB (Sturla, 2018). En relación con la producción de cobre fino el año 2018 fue de 5831 millones de toneladas, con un incremento proyectado del 20,7% hacia el año 2030 con una proyección pick de alrededor de 7152 millones de toneladas hacia el 2028 basada en el desenvolvimiento futuro de las operaciones actuales como también de las condiciones de materialización de los proyectos mineros, (González, 2019). Para la región donde yace este estudio, Región de Atacama, el PIB aportado por la minería fue de US\$1390 millones en 2018, que es aproximadamente el 1,2% del PIB nacional.

### **Proceso de recuperación de cobre en minerales sulfurados.**

Según (Comisión Nacional de Productividad, 2017) el proceso de concentración metalúrgica tiene como objeto liberar y concentrar las partículas del elemento de interés que se encuentran en el mineral o roca mineralizada, pueden encontrarse en forma de sulfuros u óxidos, habiéndose liberado la partícula de interés puede continuar a otras etapas del proceso productivo. Los procesos minero-metalúrgicos se efectúan en instalaciones industriales ubicadas generalmente en la superficie de

la zona de explotación, conocido como Plantas Concentradoras, las cuales tienen a ubicarse cerca de la Mina, de manera de reducir costos operacionales. El proceso de concentración se divide principalmente en las siguientes fases: chancado, molienda y flotación. Las unidades de chancado y molienda son unidades operativas que tienen la función de reducir el mineral de tamaño y exponer las partículas de cobre. Por otro lado, la unidad operacional de flotación por medio de mecanismos fisicoquímicos recupera el cobre liberado del mineral mientras se eliminan los desperdicios del proceso denominado relave.

#### **Aplicación de Lean DMAIC en minería en el extranjero.**

Según lo indica (Vega, 2019) la aplicación de metodologías de mejora continua como el Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Controlar y Actuar) junto con la metodología DMAIC en una empresa minera del Perú generó aumento en la productividad de un 2,3% e incrementos de 2,2% del rendimiento en el transporte de carguío de camiones palas medido en toneladas por hora. Pudiéndose identificar distintas fuentes de tiempos improductivos en el área de operaciones de la empresa minera, donde se identificó fallas de equipos como problemas de neumáticos, fallas en los sistemas de medición, cansancio de operadores, falta de compromiso de colaboradores entre otros. Económicamente se evaluó ingresos adicionales de 12 millones de dólares anuales.

#### **Aplicación de Lean DMAIC en la industria minera en Chile.**

En una minera anónima en Chile se aplicó la metodología DMAIC generando incremento en la productividad de la empresa por medio de la mejora de procesos de perforación de Diamantina. Se logró identificar oportunidades de mejora en los tiempos del proceso donde se establecieron 14 posibles causas, las soluciones implementadas para cada una de estas posibles causas no generaron costos gravitantes y se implementaron en el corto plazo, pudiendo generar un incremento teórico en la producción de 7063 a 9814 metros de perforación. Se concluyó que la metodología DMAIC en un proceso de perforación en diamantina interior mina es de utilidad, debido a que las mejoras de tiempos de los procesos impactaron en la

productividad del proceso y satisfacción de clientes internos y externos del proceso, (Salas, 2016).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que se carece de trabajos que busquen oportunidades no definidas por equipos de trabajo, y para el caso de la planta concentradora Pedro Aguirre Cerda, se carece de una metodología para la formulación y definición de proyectos práctica y coherente de sus unidades operativas, que permitan gestionar los recursos humanos, técnicos y económicos en búsqueda de la creación de valor efectiva por medio de proyectos de mejora continua. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

### **1.3 Contribución del trabajo**

Indagando en las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la ausencia de procesos para la formulación y definición de oportunidades de mejora y proyectos a la hora de mejorar los resultados productivos y económicos con el fin mitigar el riesgo del negocio sobre la compañía. Por ello se propone una metodología práctica, estructurada y lógica por medio de Lean DMAIC para la formulación y definición crítica de proyectos con objeto de resolver la problemática de los clientes. En este sentido contribuye a la comprensión de como procesos estructurados y bien formulados influyen en la capacidad del equipo para entender el problema, medirlo, analizarlo, mejorarlo y controlarlo, con ello resolver problemas de variada complejidad y mejorar condiciones actuales que presentan oportunidades y que incluso pueden no haber estado identificadas y que impactarán de manera positiva en la producción, costos y mitigación de amenazas generales al negocio.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

#### **1.4 Objetivo general**

Proponer una metodología que facilite la formulación y definición de proyectos de mejora continua en la gerencia de proceso de una planta de concentrado de cobre, para la generación de valor en los procesos de resolución de problemas que permitan en adelante acelerar la implementación de proyectos de mejora continua.

##### **1.4.1 Objetivos específicos**

- Estudiar la relación entre herramientas de gestión de proyectos de mejora continua y su conveniencia en una metodología para formular proyectos.
- Analizar las herramientas metodológicas propuestas y su valor agregado al proceso de formulación y evaluación de proyectos.
- Proponer un modelo para formular proyectos desde la definición hasta la implementación y control para la generación de valor y reducción de riesgos del negocio.

#### **1.5 Propuesta metodológica**

- 1) **Paradigma y diseño:** El estudio se enfocó en la implementación de la metodología DMAIC para llevar a cabo la formulación y definición de proyectos de mejora en los procesos de la empresa Minera Ojos del Salado en su Planta de procesamiento de mineral Pedro Aguirre Cerda. Se realizó una investigación experimental, de acción o aplicada para dar solución a la problemática. La investigación es descriptiva ya que describe parte de la realidad de la empresa, así como explicativa ya que en el proceso se revela la situación que acompleja a la empresa y longitudinal debido que la variable dependiente cambia con el tiempo, (Sampieri, 2014). En cuanto al diseño

metodológico es una aproximación mixta por medio de la metodología DMAIC (variable independiente) la cuál percibe el problema como medible, pero al mismo tiempo se sostiene como una herramienta colaborativa que integra capacidades de las personas.

- 2) **Población sobre la que se efectuará el estudio.** La población sobre la que se afecta el estudio es en el proceso unitario de molienda convencional y sus parámetros operativos durante el periodo 2017-2018. La muestra estudiada y la unidad de análisis recayó en el parámetro de mineral procesado por hora por ser una variable de alto impacto y la conducción del experimento basado en el requerimiento del cliente. Para el presente trabajo se excluyó parámetros operacionales de otras áreas de trabajo, debido a que se estableció que la cantidad de recursos y complejidad del objetivo deberían ir enfocado hacia la etapa de molienda. Es importante destacar que, debido a la naturaleza compleja del yacimiento en atributos geológicos básicos como la mineralización, litología y alteraciones que van siendo descubiertas en la explotación, pueden afectar los resultados operacionales y que incrementan la incertidumbre en la gestión de los procesos, (Montes, 2015)
- 3) **Entorno:** Compañía Contractual Minera Ojos del Salado (CCMO) es parte del Complejo Minera Candelaria y que actualmente es propiedad indirecta de Lundin Mining Corporation (80%) y Sumitomo Metal Mining Co., Ltd. y Sumitomo Corporation (20%). La producción comercial de Ojos del Salado se inició en 1929 con el nombre de Planta Punta del Cobre. En 1983, Phelps Dodge Corporation adquirió el 10% de Compañía Minera Ojos del Salado y en 1985 se convirtió en su único propietario. En octubre de 1998, debido a la bajada del precio del cobre, las obras de Ojos del Salado se paralizaron. Sin embargo, la empresa reabrió sus operaciones en marzo de 2004. Desde entonces, este proyecto ha retomado sus actividades con el apoyo del operador Aurex Chile Ltda, entidad que se encarga de la operación y administración de las minas Santos y Alcaparrosa. En 2007, esta transacción

era propiedad del 80% de Freeport-McMoran Copper & Gold, después de adquirir Phelps Dodge Corporation, siendo Sumitomo Corp. el 20% restante, finalmente desde 2017 Lundinming sería dueño del 80 % de la propiedad de Freeport-McMoran. CCMO comprende dos minas subterráneas: Santos y Alcaparrosa. La mina Santos proporciona mineral de cobre a un concentrador denominado Planta PAC, con una capacidad de 3800 toneladas por día (tpd) y proporciona un promedio de 1400 tpd., a la concentradora de Minera Candelaria, mientras que todo el mineral de la mina Alcaparrosa se trata en el procesamiento de Minera Candelaria. Planta PAC se encuentra ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, región de Atacama a 17 kilómetros de Copiapó y a 12 kilómetros de Minera Candelaria, ubicación geográfica en anexo 1 y 2. Minera Ojos del Salado posee una capacidad de producción promedio de 155 toneladas por hora (tph) de mineral y una tasa de procesamiento de 10 tph., de concentrado filtrado, pudiendo generar tasas de 72 kilo libras (klb) vendibles de cobre promedio diario. Traducidas a 26300 klb., de cobre vendible al año. Los procesos unitarios más importantes de la Planta concentradora Pedro Aguirre Cerda son Chancado Primario y fino, molienda, flotación, espesamiento, filtrado, resumidos a continuación:

- a. Chancado Primario. Primera etapa de reducción de mineral, el cuál a través de un Chancador de Mandíbula Chalmers de 48 pies x 60 pies se reduce el mineral de 1 a 1,5 metros a 80% bajo las 4,5 pulgadas.
- b. Chancado Fino. Segunda etapa de reducción de tamaños, donde a través de un Chancador secundario Symond de 7 pies Estándar Head se reduce el material proveniente de Chancado Primario. Posteriormente el mineral chancado pasa a harneros vibratorios, donde el mineral sobre 6 mm pasa a una etapa de chancado terciario, donde existen dos Chancadores Terciarios Symond Short Head que reducen el material 80% bajo los 7 mm. El mineral que pasa bajo los 6 mm., en los Harneros ingresa a la etapa de Molienda.

- c. Molienda. La etapa de molienda utiliza 3 molinos de bolas. Un molino de bolas de 9x9 pies Marcy capacitado con un motor de 375 Kilowatt (kW) y dos molinos de bolas de 10,5x13 pies modelo Allis Chalmers, denominados ML2 y ML3. ML2 posee un motor de 915 HP y ML3 posee un motor de 1000 HP. El producto de los molinos pasa por hidrociclones los cuales separan el material grueso del mineral fino por medio de corrientes centrífugas, obteniendo un producto final 30% sobre los 150 micrones ( $\mu\text{m}$ ). Esta etapa es crítica ya que genera tanto la cantidad y calidad de mineral necesaria para recuperar las primeras libras de cobre en la etapa siguiente, flotación.
- d. Flotación. El objetivo de esta etapa es aumentar la ley del mineral en el producto final y recuperar el mayor porcentaje de cobre de este. La primera etapa es la etapa Rougher, posee 1 circuito de 5 celdas Wemco 1500 (1500 pies cúbicos). El concentrado de la etapa Rougher pasa por una etapa de remolienda en un molino de 6x5 pies, concentrado que posteriormente pasa por una etapa de limpieza o etapa Cleaner, etapa que posee una celda columna de 8 pies de diámetro y 40 pies de alto, la cual logra enriquecer la ley del concentrado a un 30%. El circuito de flotación recupera un 93% del cobre total
- e. Espesamiento. La planta posee dos espesadores de concentrado de 28 pies de diámetro, los cuales se encargan de recuperar el agua del proceso y aumentar el porcentaje de sólidos de la pulpa para la etapa de filtrado.
- f. Filtrado. Esta etapa posee un filtro cerámico Outomec de 30 metros cuadrados de superficie, la cual se encarga de obtener el concentrado filtrado con 9 % de humedad, el cuál posteriormente es vendido a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

Ojos del Salado reciben energía eléctrica a través de contrato con la empresa AES Gener S.A., una empresa de energía a nivel nacional, la cual genera

principalmente contratos de largo plazo con clientes de la industria minera. El suministro primario de agua proviene de una planta desaladora, que se puso en marcha en 2013 y está ubicada en la instalación portuaria de Punta Padrones en el cercano puerto marítimo de Caldera, la ubicación se puede verificar en anexo 3. Tanto la desaladora como el puerto de Punta Padrones son propiedad del Complejo Minera Candelaria. Las minas también utilizan aguas residuales tratadas locales compradas a Aguas Chañar. El concentrado de cobre producido se transporta en camiones desde el sitio hasta las fundiciones locales o se envía desde Punta Padrones a los mercados mundiales. Organizacionalmente la Gerencia de Planta Concentradora de Minera Candelaria administra la gestión global operativa de CCMO quien le entrega el control operativo a un Sub-Gerente de Operaciones y el control de mantención a un Sub-Gerente de Mantención en CCMO. El Sub-Gerente de Operaciones tiene 6 personas a su cargo, 2 de soporte y 4 de operaciones. En relación con los cargos de soporte existe un Metalurgista de procesos a cargo de la gestión de mejora de procesos metalúrgicos y un estadístico a cargo del reporte estadístico de corto y mediano plazo para fine ejecutivos. Sobre los cargos operativos existen 4 jefes de turno, todos de profesión metalurgista quien a su disposición tienen un grupo de 10 personas para lograr operar la planta concentradora. La Sub-Gerencia de Mantención por otro lado tiene a su cargo 2 supervisores, uno para el área denominada seca y otra para el área denominada húmeda quienes tienen un equipo de subcontrato para realizar las mantenciones por medio de empresas contratistas que se licitan por periodos limitados de tiempo, el organigrama organizacional se puede observar en el anexo 4 de este trabajo.

4) **Intervenciones:** Para el presente proyecto se utilizó la metodología DMAIC el cual se detalla a continuación.

a. **Etapa de Definición:** Se realizó un levantamiento por medio de herramientas como SIPOC, Ecosistema del Problema y Project Charter,

por medio de entrevistas informales en reuniones con equipos de trabajo.

- b. Etapa de medición:** Para entender el problema se realizó contrastes de tratamiento de mineral en la etapa de molienda por medio de histogramas y boxplot. Se realizó el mismo tipo de análisis para la medición de otras variables como potencia y su relación con la producción. Para la captura de esta información se ocupó data estadística por medio de herramienta de captura de datos PIProcessBook-PIDatalink de Osisoft.
- c. Etapa de analizar:** Se realizó análisis estadístico descriptivo de la data capturada para comparar escenarios y líneas de tiempo de los parámetros operacionales de la etapa de molienda. También se ocuparon herramientas como Diagrama de Ishikawa para permitir identificar las causas raíz del problema.
- d. Etapa de mejora:** Se buscan soluciones por medio de instrumentos de resolución de problemas como brainstorming que llevó a ocupar herramientas como Tablas y diagramas de Impacto y dificultad para la priorización y elección de proyectos de mejora. Se usaron instrumentos de gestión Lean como la realización de informe A3 para guiar la hoja de ruta del proyecto. Finalmente debido a proyectos que se contraponían en su finalidad, ejecución y recursos se realizó una evaluación económica de ambos potenciales proyectos.
- e. Etapa de control:** En esta etapa se hace seguimiento estadístico descriptivo de los parámetros operacionales de la unidad de molienda.

5) **Plan de análisis de los datos:** Los datos obtenidos mediante la aplicación de técnicas e instrumentos fueron incorporados a programas computarizados; por medio de limpieza de datos, filtro y orden de datos que permiten herramientas como Excel o Minitab se procedió al cálculo de estadística descriptiva reflejada en gráficos, tablas de datos, cuadros o resúmenes.

6) **Ética:** El presente trabajo se realizó con información operativa real de instrumentos de captura de datos existentes en las instalaciones del entorno escogido para el estudio. La data analizada no fue modificada ni alterada, con fin de mostrar la realidad de lo realizado en su mejor expresión. Además, se tomaron medidas para garantizar la confidencialidad de la información como por ejemplo como no registrar nombres de personas si no que de cargos. No se influyó ni se ejerció presión indebida, en toma de decisiones, pensamiento o en las características de pensamiento individual de los involucrados en este trabajo, se respetó la libertad de participar o no, y finalmente tampoco se realizó ofrecimiento de beneficio para ser parte del proyecto.

## **1.6 Organización y presentación de este trabajo**

Este proyecto de grado se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Se presenta formalmente la problemática del proyecto y la o las metodologías asociadas.

Capítulo 3: Se muestran análisis y resultados de la propuesta del trabajo.

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales.

Anexos.

## **2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA SELECCIONADA**

### **2.1 Presentación de la problemática del proyecto**

Minera Ojos del Salado cuenta con una Planta Concentradora de cobre ubicada en Tierra Amarilla, comuna de Copiapó, la cual posee una capacidad de producción promedio de 155 tph de mineral y una tasa de procesamiento de 10 tph de concentrado filtrado, pudiendo generar tasas de 72 Klb vendibles de cobre promedio diario, traducidas en 26300 Klb de cobre vendible al año.

La planta concentradora de cobre tiene distintos procesos unitarios, cada uno de los cuales agrega valor a la sinergia del proceso, cumpliendo roles como transporte y reducción de tamaño de mineral por medio de la etapa de chancado y molienda, clasificación de mineral por medio de harneros e hidrociclones, separación físico química del producto deseado en la etapa de flotación, manejo y transporte de mineral en etapas como espesamiento de relaves, relave ductos, filtrado y acopio de concentrado de cobre, ver figura 1. Existen procesos auxiliares críticos que soportan el proceso como la impulsión de agua de proceso desde pozos y planta desaladora, adición de reactivos unidades especiales habilitadas para ese propósito. Todos los procesos unitarios diferentes y complementarios entre si convergen para producir como resultado final concentrado de cobre medido en libras vendibles que posee ciertas características fisicoquímicas que deben ser controladas para su venta como el porcentaje de cobre, oro, plata y humedad de concentrado.

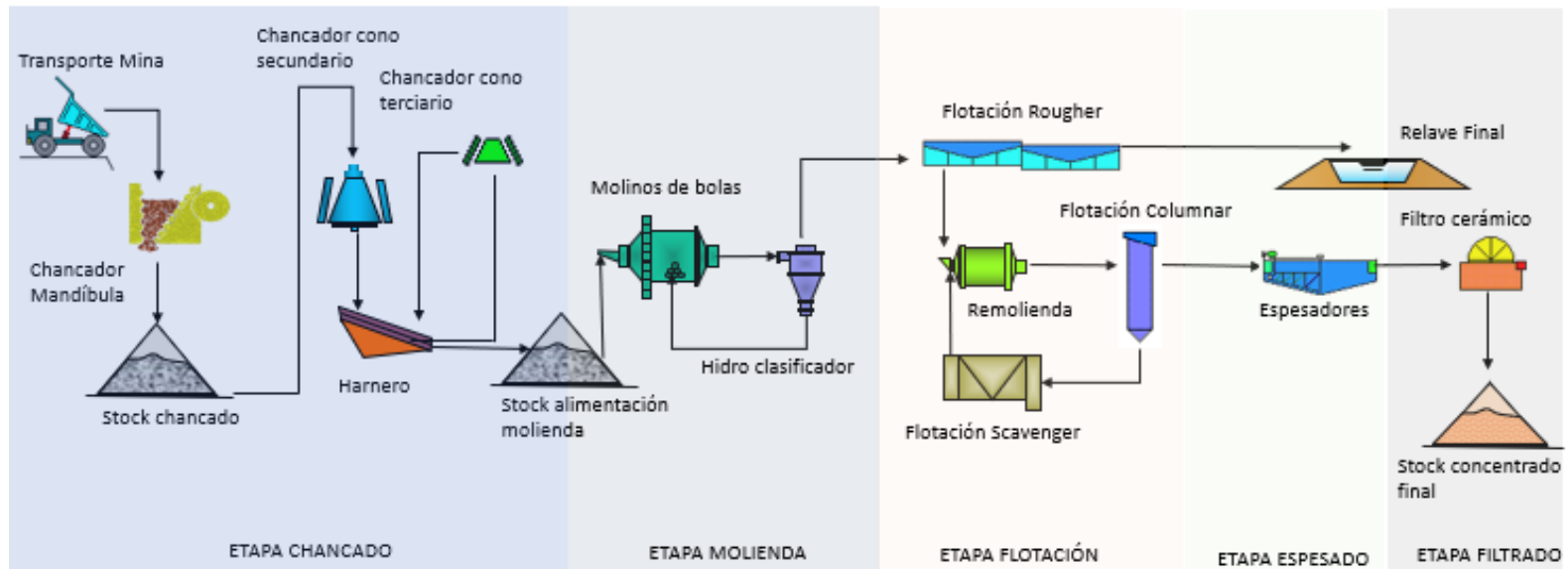


Figura 1: Proceso productivo Planta Pedro Aguirre Cerda, Compañía Minera Ojos del Salado.  
Fuente: Elaboración propia

Para lograr mejorar el rendimiento productivo de la planta concentradora definidos como libras de cobre producido, existen algunos KPI globales de la operación establecidos como Toneladas de Mineral tratado por hora (tph), Recuperación de cobre (% de Recuperación) y ley de cobre en el concentrado final producido (% Cu final) entre otros que se pueden identificar en la tabla 2. Sin embargo, como la cadena productiva depende de la sinergia de los procesos, cada unidad tiene sus propios KPI específicos. Por lo que, para poder generar beneficios productivos traducidos en libras de concentrado de cobre, en Planta PAC, los proyectos de mejora pueden ser ejecutado en cualquier área del proceso, ya que si agregan valor al sistema puede incidir directa o indirectamente en los resultados de los procesos siguientes.

Las ideas de mejora continua pueden apuntar en diferentes direcciones en la organización tales como producción, seguridad, medio ambiente, control de costos, comunidades, etc., así como también surgir en diferentes gerencias como Procesos Planta, Mina o Geología. Al mismo tiempo es importante destacar que los recursos de forma general en una organización son limitados y por ello los proyectos de mejora continua tienen que estar bien fundamentado y analizados a la hora de ser presentados para su aprobación, ya que, si el proyecto no soluciona alguna problemática significativa del cliente, no se comprenderá el problema que intenta solucionar y el beneficio que intenta aportar al negocio. En base a una mala formulación y definición de soluciones se espera que los recursos serán dispuestos en otros proyectos pertenecientes a otras unidades o gerencias, generando un potencial desmedro a la gestión de la unidad. También es importante destacar que un proyecto mal planteado conlleva a ocupar recursos humanos en actividades que serán rechazadas, haciendo los procesos ineficientes y generando con el tiempo desmotivación en el equipo en distintos niveles para seguir generando ideas con potencial de mejora en el proceso, (Farrate y Jaquenod, 2018).

Tabla 2: Indicadores principales de producción en Planta PAC.  
Fuente: Elaboración propia.

(Planta PAC) / Mes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Material minado (kt)	127	117	128	125	128	124	129	128	124	127	123	127	1507
Esteril (kt)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	168
Minado a PAC (kt)	113	103	114	111	114	110	115	114	110	113	109	113	1339
Recuperación cobre PAC (%)	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5
Tonelada concentrado Cu	3515	3383	3855	3725	3438	3626	3898	3832	3418	3512	3367	3264	42834
Ley concentrado Cu final (%)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Producción total Ag (kg)	212	204	234	222	215	229	245	261	235	242	233	231	2762
Producción total Au (kg)	18	17	20	19	20	20	22	20	18	19	18	18	229
Recuperación Au (%)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Conc -Ag (gr/DMT)	60,2	60,3	60,7	59,6	62,5	63,2	62,8	68,1	68,8	68,8	69,3	70,7	64,5
Conc - Au. (gr/DMT)	5,1	5,0	5,2	5,2	5,7	5,6	5,5	5,2	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3
Recuperación Ag (%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cobre producido (klbs)	2325	2238	2549	2464	2274	2398	2578	2534	2261	2323	2227	2159	28330
Plata producida (koz)	6,8	6,6	7,5	7,1	6,9	7,4	7,9	8,4	7,6	7,8	7,5	7,4	88,8
Oro producido (koz)	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	7,4

Según la información recopilada por medio de entrevistas informales con actores principales de la operación, el número de proyectos relevantes presentados y ejecutados durante los últimos dos años han sido menor a 2. Se indica que la problemática en Minera Ojos del Salado se produce principalmente por dos motivos, el primero tiene que ver con la cultura donde el capital humano si bien es proactivo es limitado, privilegiándose la gestión del día a día, quedando poco margen para gestión en sostenibilidad de mediano largo plazo de la planta de producción. El segundo motivo está relacionado al uso de herramientas de gestión, ya que no existe una metodología estructurada, práctica y ágil en la Gerencia de Procesos, que permita formular por medio de una visión crítica los proyectos, que los analice de forma iterativa para determinar el valor, y que finalmente dada su implementación permita el control para evaluar de manera continua los procesos y en su conjunto finalmente termine logrando el uso eficiente de los recursos de la compañía.

Dicho lo anterior, se decide realizar la formulación y definición de proyectos por medio de la metodología DMAIC, debido a esta metodología otorga de manera casi intuitiva un marco de referencia estándar y con estructura definida para generar valor en las empresas por medio de cambios en los procesos de manera incremental e integral. La metodología DMAIC al ser una metodología mixta, esto quiere decir cuantitativa y cualitativa, es capaz de traducir en información documentada y resumida las potenciales disposiciones adoptadas tras un análisis para la resolución de problemas, ayudando a guiar a los equipos a definir sus objetivos actuales de manera clara y entender hacia donde se dirige el proyecto y el valor que generan.

## **2.2 Metodología DMAIC**

El desarrollo del presente trabajo se encuentra enmarcado en la metodología DMAIC, de los programas originales Six Sigma, cuyo enfoque es la resolución de problemas que encuentra sus cimientos en datos que ayudan a generar las mejoras u optimizaciones en productos o procesos de diferentes industrias. Enfoque traído por

el Ingeniero de Motorola Bill Smith como parte de la metodología Six Sigma en la década de 1980, fue capaz de impulsar mejoras significativas en sus procesos de producción utilizando datos estadísticos, (Caicedo, 2013). Como se indica en la figura 2 DMAIC es un acrónimo inglés de cinco etapas interconectadas, que comienza con la definición de los objetivos del proyecto en base a un problema para luego medir el proceso, analizar y determinar la causa del inconveniente u oportunidad detectada. Identificado el problema se realizan las mejoras al proceso, para terminar con la etapa de control de rendimiento habiéndose realizado los cambios pertinentes. Cada paso en la metodología se orienta en obtener los mejores resultados posibles para minimizar la posibilidad de error, (Perez, Perez, García y Gómez, 2020).



Figura 2: Metodología DMAIC, pasos resolución problema.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de DMAIC en este proyecto se realizó un análisis de las variables y parámetros operacionales identificados como parte del problema por un periodo de 6 meses, se utilizaron diferentes herramientas cualitativas y cuantitativas que permitieron definir el proceso y la problemática a estudiar, obtener datos operacionales y convertirlos en información, analizar la información y encontrar la causa raíz del o los problemas, finalmente conducir a proponer proyectos de mejora y generar procesos de control mediante indicador claves de gestión.

### **2.2.1 Etapa definir:**

En esta etapa definimos cual es el problema. Primero que todo se generó un equipo multidisciplinario de trabajo compuesto por los encargados del proceso, mantención y operación de Planta PAC, que corresponde a 6 personas (Superintendente de Operaciones, Metalurgista, 2 Mantenedores y 2 jefes de turno planta). El equipo fue construido de acuerdo con su autoridad, capacidades y experiencia en las áreas a su cargo. Personas que finalmente soportaron la investigación y validación del proceso, estudiaron las causas potenciales y generaron propuestas de mejora, liderando la implementación de soluciones y control de beneficios. Para ello se comenzó con la definición del cliente y su dolor o conocido como la Voz Del Cliente (VDC) que se tradujo en Requerimientos Críticos del Cliente (RCC), entendiendo que el cliente es quien define las expectativas iniciales, preferencias, aversiones y comentarios sobre lo que desea mejorar, se utilizó la herramienta de las 6 preguntas básicas, ¿Qué?, ¿quién?, ¿cuánto?, ¿cuándo?, ¿cómo? y ¿por qué? Como se indica en la tabla 3. Definiéndose en este caso el incrementar el margen de beneficios económico en de la planta de procesamiento de mineral, que se estableció como incremento de tonelaje producido en un 1% o el aumento de recuperación de cobre en 0,1% o incremento de leyes de cobre en concentrado final en 0,1%, lo anterior buscando oportunidades en la etapa unitaria de chancado, molienda o flotación, los KPI indicados se escogieron ya que representan directamente el estado del problema a resolver.

Tabla 3: 6 Preguntas básicas para definición del problema.  
Fuente: Elaboración propia

Preguntas	Respuestas
¿Qué?	Incrementar margen de ganancia USD/ton procesada anual de la planta concentradora.
¿Quién?	Gerente de Procesos
¿Cuánto?	1% TPH; 0,1% Recuperación o 0,1% Ley Concentrado final
¿Cuándo?	1 semestre para realizar mejoras.
¿Cómo?	Centrados en proyectos en etapas de Molienda y Flotación
¿Por qué?	Etapas críticas del sistema con potencial de mejora incremental que inciden en KPI esperados.

Debido a que la solicitud del cliente se podía atacar desde 3 perspectivas distintas: Tonelaje procesado, recuperación de cobre y ley de concentrado final; Fue necesario centrarse en objetivo más particular debido la cantidad de baja de recursos humanos disponibles en la organización, que hizo inviable crear grupos de proyectos de mejora continua para cada uno de los potenciales frentes de acción para solucionar la problemática del cliente. Por lo que se desarrolló un proceso de trabajo enfocado en ciclo DMAIC enmarcando la Mejora y Control en un ciclo Plan; Do; Control; Act (PDCA). Para buscar oportunidades en la planta, se decidió acotar la ejecución de mejoras continuas por medio de proceso DMAIC en base a un diagrama de proceso establecido y concertado por el grupo, tal como se indica en la figura 3. Esta definición supuso formular proyectos e ir avanzando por áreas de trabajo comenzando con las tres primeras fases DMA (Definir, medir, analizar), en donde si se encontraban problemas y sus causas raíz se procedía a seguir con IC (Mejorar y controlar). Ya habiendo establecido primeras mejoras en la primera área unitaria de la planta concentradora se continuaba con otra área de trabajo para repetir DMA y IC si corresponde según el diagrama de decisiones. También se establece que si se llega a la etapa de IC y con el tiempo no se logran resultados evidentes de mejora se debería realizar una nueva iteración del ciclo, para lograr identificar una nueva brecha existente o una no identificada en el análisis preliminar.

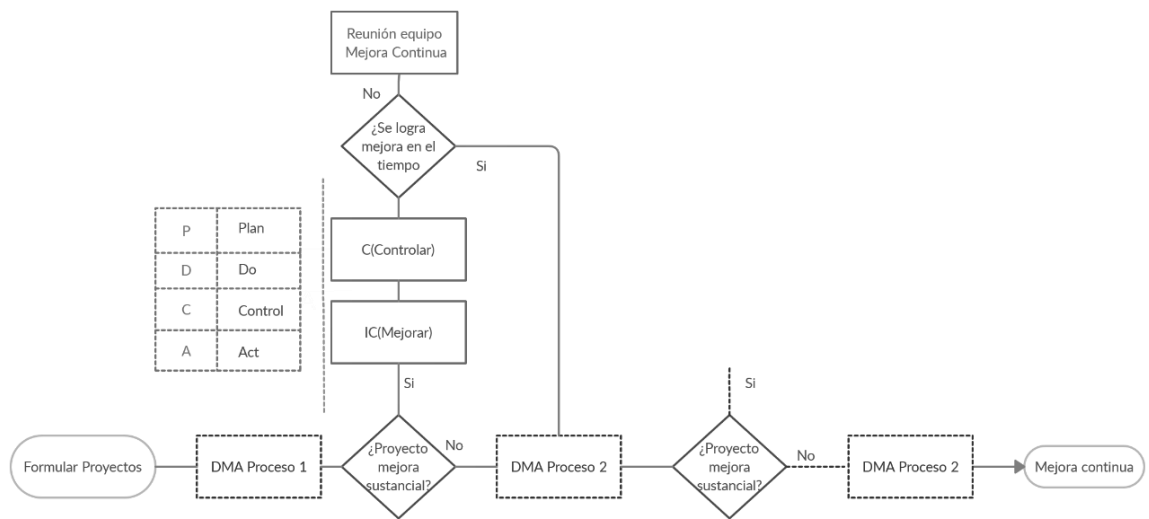


Figura 3: Diagrama de proceso mejora continua DMAIC  
Fuente: Elaboración propia.

Con la aclaración anterior se formuló nuevamente la definición del problema, pero ahora por medio de 3 preguntas. ¿Quién es el cliente?, ¿qué espera de nosotros? Y ¿a través de qué proceso respondemos al cliente?, como se puede observar en la tabla 4 a continuación:

Tabla 4: Foco de requisitos del cliente/negocio  
Fuente: Elaboración propia

Preguntas	Respuestas
¿Quién es el cliente?	Gerente de Procesos de Minera Ojos del Salado
¿Qué espera de nosotros?	Incrementar las libras de cobre fino producido
¿A través de qué proceso respondemos al cliente	Por medio del proceso de molienda

Siguiendo en esta etapa se procedió a realizar un Project Charter, tal como se puede observar en la figura 4. Esta herramienta que permite visualizar la oportunidad de negocio en donde se detallan los aspectos fundamentales y cruciales de todo el proyecto, como los alcances objetivos, entregables, posiciones, responsabilidades, se define el plan y las consideraciones como el riesgo, consideraciones y restricciones, (Starns, 2019).

<b>PROYECTO:</b> Identificar e implementar oportunidades que permitan incrementar la tasa de mineral procesado en la etapa de molienda o incrementar el % de recuperación de cobre en la etapa de flotación de la Planta Pedro Aguirre Cerda.					
<p align="center"><b>ENUNCIADO DE OPORTUNIDAD</b></p> <p>Se hace necesario definir un conjunto de acciones que permitan a la Gerencia de Procesos, generar mayor rentabilidad al negocio considerando próximos 5 años. Lo que debemos hacer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisar y diagnosticar la operación unitaria de molienda en la actualidad.</li> <li>▪ Identificar oportunidades de mejora que permitan generar incrementos porcentuales de 1% en procesamiento o 0,1% en recuperación o ley de concentrado final.</li> <li>▪ Analizar mejoras propuestas con una evaluación técnico económica.</li> <li>▪ Implementar mejoras propuestas en un periodo menor a un año.</li> <li>▪ Definir conjunto de indicadores de gestión claves que permitan evaluar el rendimiento operativo de la etapa de molienda.</li> </ul>	<p align="center"><b>CASO DE NEGOCIO</b></p> <p>Debido a la volatilidad del negocio minero en los últimos años, que ha generado incremento del valor de los insumos críticos así como del descenso de las leyes de mineral, se desea incrementar la productividad de la planta por medio de incremento de tonelaje o mejorando el performance de recuperación y ley de concentrado final en la empresa. Por otro lado el no cumplimiento de las metas comprometidas ha generado un impacto negativo en el negocio de corto plazo y en las relaciones con stakeholders internos.</p>				
<p align="center"><b>ALCANCE DEL PROYECTO</b></p> <p><b>Inicio:</b> Planificación de la prospección. <b>Final:</b> Oportunidad que permita incrementar productividad en algunos de los KPI operacionales de molienda y flotación.</p>	<p align="center"><b>ENUNCIADOS DE OBJETIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incrementar la producción anual de tratamiento de mineral en un 1%</li> <li>▪ Incrementar el Margen de ganancia del proceso en un 1%.</li> <li>▪ Estandarizar procesos de etapas unitarias críticas como molienda y flotación</li> <li>▪ Establecer indicadores claves de gestión operacional para el control fino del proceso.</li> <li>▪ Cumplir con el 100% de plan de disponibilidad molino de bolas del programa semestral y anual.</li> </ul>				
<table border="1"> <thead> <tr> <th align="center">IN</th> <th align="center">OUT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia Procesos Planta PAC</li> <li>• Gerencia Mantenimiento Planta PAC</li> <li>• Gerencia Operaciones Planta PAC</li> <li>• Gerencia Procesos Minera Candelaria</li> <li>• Gerencia Confiabilidad.</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otras Gerencias no nombradas.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	IN	OUT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia Procesos Planta PAC</li> <li>• Gerencia Mantenimiento Planta PAC</li> <li>• Gerencia Operaciones Planta PAC</li> <li>• Gerencia Procesos Minera Candelaria</li> <li>• Gerencia Confiabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otras Gerencias no nombradas.</li> </ul>	
IN	OUT				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia Procesos Planta PAC</li> <li>• Gerencia Mantenimiento Planta PAC</li> <li>• Gerencia Operaciones Planta PAC</li> <li>• Gerencia Procesos Minera Candelaria</li> <li>• Gerencia Confiabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otras Gerencias no nombradas.</li> </ul>				
<p align="center"><b>EQUIPO DE TRABAJO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sponsor: Gerente de procesos y Plantas.</li> <li>▪ Dueño del proceso: Gerente de Operaciones.</li> <li>▪ Líder metodología: Metalurgista Senior.</li> <li>▪ Equipo: Mixto Lean</li> <li>▪ Líder de proyecto: Metalurgista de molienda.</li> </ul>	<p align="center"><b>PLAN DE PROYECTO</b></p> <p><b>Fecha de Inicio:</b> Octubre 2018. <b>Fecha Termina:</b> Octubre 2019. <b>Periodo de control:</b> Cada 15 días.</p>				

Figura 4: Project Charter Planta PAC  
Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.2 Etapa medir:**

Se procede a establecer el proceso productivo de la etapa de molienda para determinar las actividades críticas. Para ello se utilizó la herramienta del diagrama SIPOC (Proveedor, Entrada, Proceso, Salida y Cliente) y el uso de diagramas de flujo que nos permiten modelar el proceso. Según (Klumbyte, Bliudzius y Foikades, 2020) para poder identificar, caracterizar, evaluar procesos y valorar de manera integral los aspectos que deben mejorarse es esencial crear una matriz de procesos por medio del método SIPOC, debido a que la información sobre cada proceso es importante para gestionar de manera efectiva los recursos y con ello el desarrollo de sus procesos cuando los resultados actuales no son los deseables o no se cumplen expectativas de este. Como se observa en la tabla 5 se realizó la matriz considerando Proveedores; Entrada, Proceso; Salida y Cliente, donde el Proveedor corresponde a los sistemas, personas, organizaciones u otras fuentes que proporcionan datos o información utilizada en el proceso. Las entradas son la información, recursos adicionales proporcionados por los proveedores y utilizados en el proceso. En cuanto al Proceso se identifica como un conjunto de acciones que cambian los datos de entrada y lo convierten en una o varias salidas. La Salida pertenecen a productos o servicios que se crean durante el proceso y utilizan por los diferentes stakeholder definidos como clientes. Clientes son las personas, grupos de individuos, empresas, sistemas o procesos en las siguientes etapas, donde se obtienen los resultados finales del proceso, (Vitor, 2016).

Posteriormente se plantea el problema como parte del ecosistema con el objetivo de poder identificar a todos los participantes de este problema, con el fin de poder establecer la forma en que se relacionan dichas partes y cómo les impacta el problema. Entendiendo que el ecosistema es una red interconectada y que los problemas de unos, impacta en los otros. Esta herramienta se usó para poder dar un contexto de negocio a la problemática y no tan solo definir el problema como un silo organizacional, si no como parte de un macroproceso y negocio, como se indica en la figura 5.

Tabla 5:Diagrama SIPOC Proceso operacional de Molienda.  
Fuente: Elaboración propia

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Gerencia Mina	Mineral (t/h)	Seleccionar ratio de alimentación de mineral	Pulpa (m3/h)	Etapa de flotación
Planificador de Procesos	Agua de procesos	Seleccionar cantidad de agua en el molino	Chips de bolas de acero	Operador de flotación
Planta Candelaria	Agua de desaladora	Seleccionar cantidad de agua cuba	Desgaste de acero	Metalurgista
Jefe de turno	Reactivos	Adicionar bolas de acero	Muestras para determinar F80	Jefe de Turno
Metalurgista	Cal	Muestrear Mineral Ciclonos	Muestras para determinar P80	Jefe de operaciones
Jefe de mantención	Bolas de acero	Muestrear Mineral Correa Alimentación	Cambio de parámetro operacional como ratio alimentación, agua, reactivos, cal	Jefe de mantención
	Plan de carguío de bolas de acero	Muestrear Mineral descarga Molino	Checklist de operador	
	Plan de control de PH	Seleccionar cantidad de reactivos para adicionar	PH pulpa	
	Plan de control de dosificación reactivos	Seleccionar cantidad de cal adicionar para adicionar	Mineral reducido de tamaño	
	Información operacional de cambio de turno por reunión 5 minutos.	Retirar chip de bolas de acero eliminados del molino	Equipos operativos	
	Checklist documentado del turno anterior	Controlar potencia del equipo	Equipos fuera de servicio por fallas	
		Controlar parámetros operacionales por DCS		
		Detener equipos en caso de problemas		
		Detener equipos en caso de ser programado por mantención		

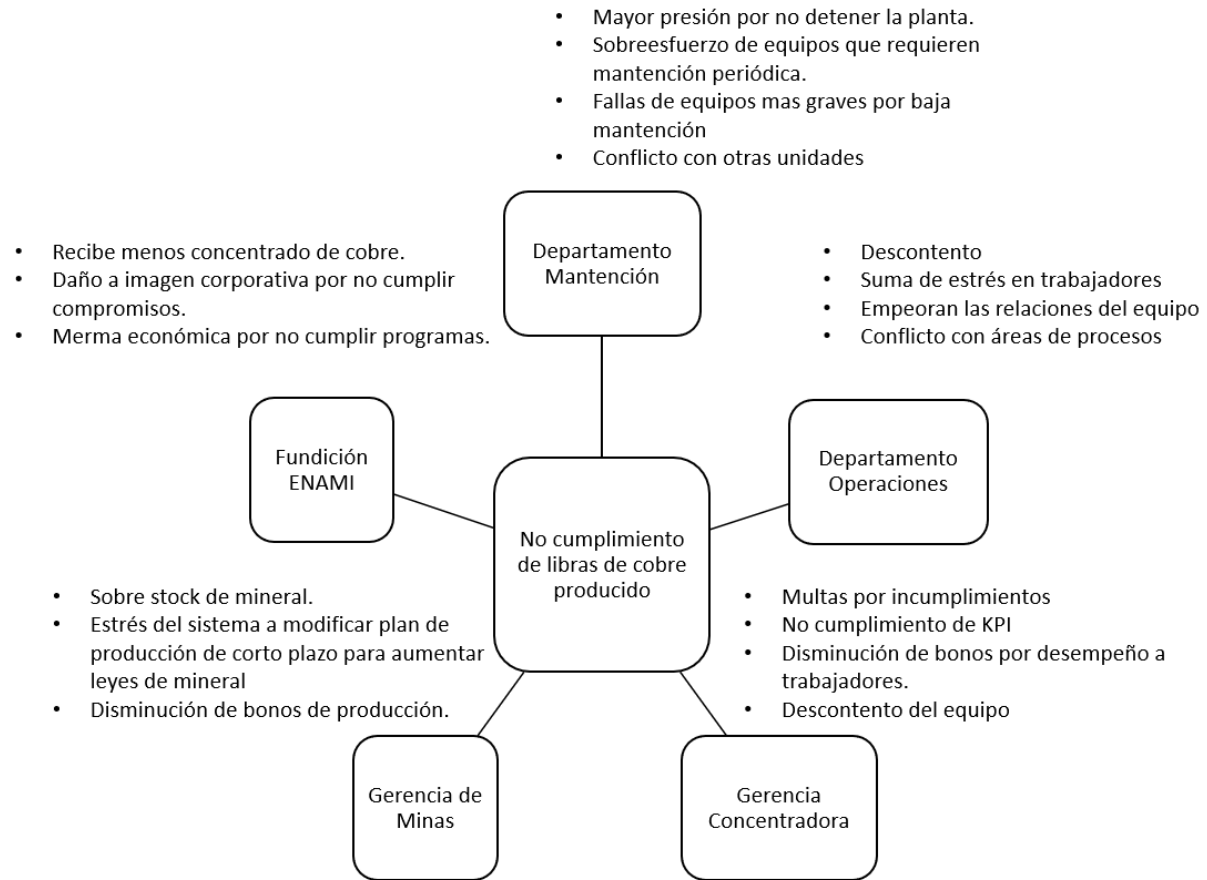


Figura 5: Ecosistema del problema en Planta Pedro Aguirre Cerda.  
Fuente: Elaboración propia.

Habiendo definido el proceso en el particular y sus interacciones con los stakeholders del negocio, se procedió a medir cuantitativamente el proceso, para ello se aplicó técnicas de adquisición de datos operacionales de los sistemas de control de procesos relacionados con el rendimiento actual de la operación para posteriormente analizarlos y ver el comportamiento a través de gráficos de control. Para realizar lo anterior se usó un plan de recopilación de datos debido a la gran cantidad de parámetros operacionales existentes y que se entregan por segundo por medio de la plataforma PiVision. En la tabla 6 se puede observar la configuración del plan de datos.

Tabla 6: Plan de datos para la captura de datos desde servidores.  
Fuente: Elaboración propia

Variable a medir	Definición operacional	Unidad	Periodo	Frecuencia
TPH: ML1, ML2 ML3	Mineral procesado por molino	Tph	6 meses	1 día
Potencia: ML1; ML2; ML3	Potencia ejercida por el motor para mover el equipo	kWh	6 meses	1 día
Agua a molino: ML1; ML2; ML3	Agua (de cualquier fuente) adicionada en la alimentación del molino	m <sup>3</sup> /h	6 meses	1 día
Presión ciclones: ML1; ML2; ML3	Presión que ejerce el equipo sobre la pulpa en su interior.	PSI	6 meses	1 día
Equipo operando: ML1; ML2; ML3	Estatus operacional del equipo	On; Off / 1;/0	6 meses	1 día
Ciclón operando: ML1; ML2; ML3	Estatus operacional del equipo	On; Off / 1;/0	6 meses	1 día
Carguío de bolas: ML1; ML2; ML3	Peso en bolas adicionada a molino por turno.	Ton	6 meses	Por turno (12 horas)
Amperaje: ML1; ML2; ML3	Amperaje producido por el motor del molino.	Amp	6 meses	1 día
Malla 2": ML1; ML2; ML3	Porcentaje de mineral bajo las 2"	%	6 meses	Por turno (12 horas)
Malla #100	Porcentaje de mineral sobre las 2"	%	6 meses	Por turno (12 horas)
Nivel de llenado de cuba	Porcentaje de volumen ocupado en la cuba por pulpa	%	6 meses	1 día
Bombas operativas	Estatus operacional del equipo	On; Off / 1;/0	6 meses	1 día
Feeder en operación	Estatus de la correa que alimenta al equipo	On; Off / 1;/0	6 meses	1 día

Luego se realizaron gráficas estadísticas de control para entender los datos recuperados, en la cual se identificaron variaciones y diferencias entre unidades productivas de molienda. Se realizó comparación entre parámetros operacionales en serie y en paralelo con otros equipos en los periodos de tiempo estipulados en la configuración del plan de datos. Se identificó una diferencia de rendimiento operativo de toneladas por hora procesada de un 10% entre los molinos identificados como molino N°2 y molino N°3. Esta diferencia se puede observar en las figuras 6 y 7 a continuación:

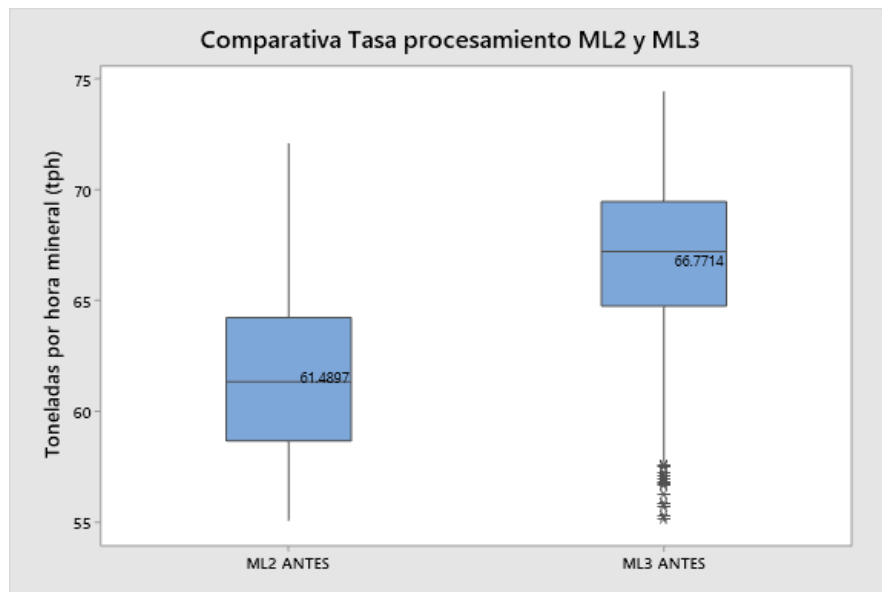


Figura 6: Tasa de rendimiento de molienda (tph); ML2 y ML3 Boxplot.  
Fuente: Elaboración propia.

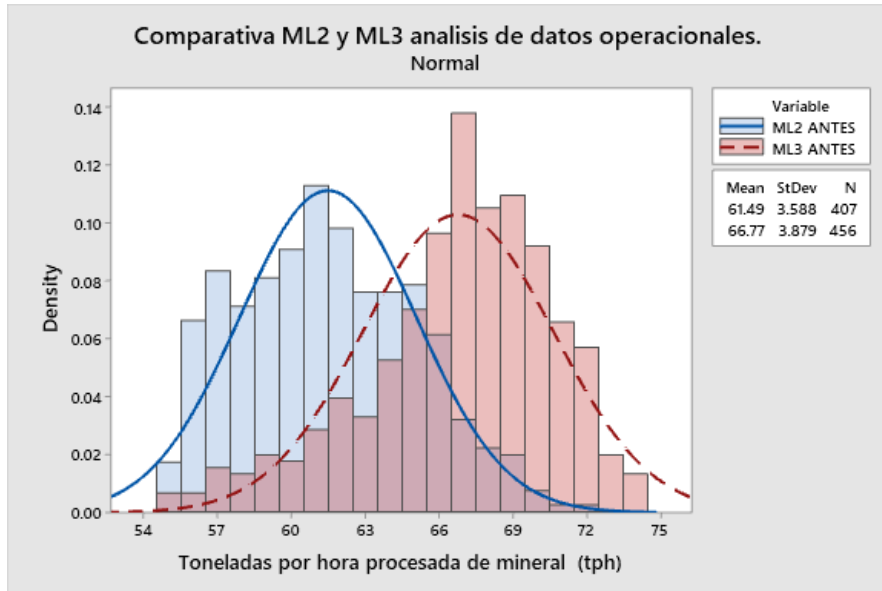


Figura 7: Histograma de rendimiento (tph), ML2 y ML3.  
Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron posteriormente mediciones del cumplimiento del plan de adición de medios de molienda de acero (bolas de acero), plan que es realizado por el metalurgista asistente de la planta concentradora, el cual se contrastó con la información de los registros operativos, detectando una diferencia entre 2% a 4% de menor adición de medios de molienda con respecto a los planes originales, como se indica en la figura 8. Es importante destacar que la correcta adición de medios de molienda para estos equipos es importante para incrementar el tonelaje procesado en el equipo, (Azizi, Rooki y Mollayi, 2020).

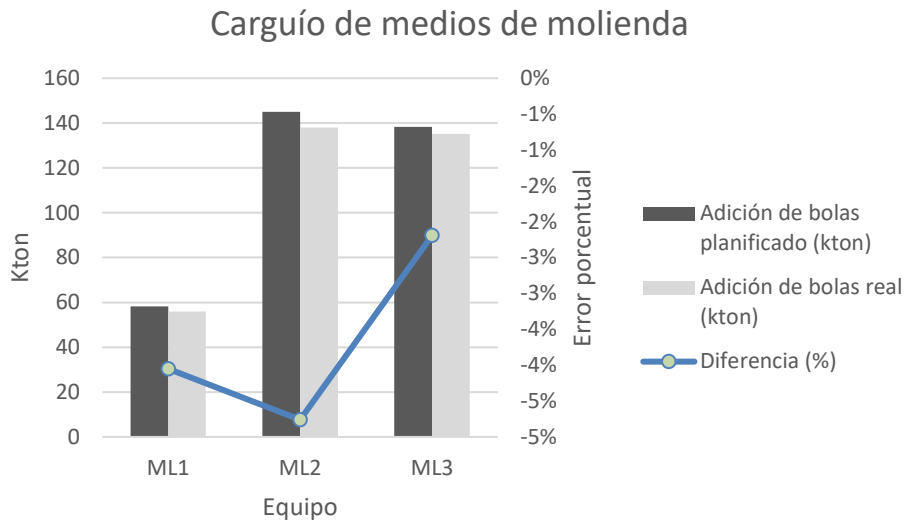


Figura 8: Toma muestra de adición de medios de molienda; Plan v/s real.  
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se solicitó conocer el estándar de conocimiento operacional del equipo de molienda, no encontrándose información que permitiera medir el conocimiento del personal a cargo del área. Ulteriormente se solicitó tener referencias del rendimiento operacional de los turnos, información que tampoco tenía un seguimiento formal y estructurado con Key Performance Indicators (KPI) de los turnos de trabajo. Según la información recopilada solo existía, por parte de algunos jefes de turno, un seguimiento informal, sin metas, criterios u objetivos tácticos que no permitía poder relacionar o cruzar información entre los 4 turnos existentes, por lo que no se podía comparar el nivel de eficiencia en los trabajos de los grupos y poder establecer un control sobre los mismos

Finalizando la etapa de medición se pudieron identificar 4 problemas en la iteración inicial: Diferencia de tratamiento de mineral entre ML2 y ML3, diferencia entre recomendación de carguío de bolas de metalurgia con lo realizado en terreno, inexistencia de medición de conocimiento operacional del área y por último la inexistencia de KPI para control de efectividad de los turnos.

### **2.2.3 Etapa análisis:**

Para la etapa de análisis se usaron las herramientas de Causa Raíz de Ishikawa con los 5 Por qué. Se identificaron la causa raíz del problema que generarían merma en la producción de libras de cobre en el proceso o incrementarían la tasa actual de producción como oportunidad. El problema y sus causas a continuación:

1. Diferencia de tratamiento entre molino 2 y molino 3:
  - a. Se identifica que motor actual de molino 2 no alcanza la potencia que tiene motor molino 3, por lo que energéticamente no tiene potencial para producir lo mismo que molino 3.
  - b. Diferencia de carguío de bolas planificado y real: Falta de capacitación y paradigmas operacionales, también tecnológicamente el sistema de reportes es inadecuado y la metodología de trabajo es poco sinérgico entre áreas.
  - c. Inexistencia de medición conocimiento operadores: Falta de liderazgo y plan de gestión operacional.
  - d. Inexistencia KPI para control trabajo de turnos: Falta de liderazgo y plan de gestión operacional.

Para la conclusión anterior se desarrolló el diagrama de Ishikawa que refleja las causas por tipo de categoría, ver figura 9, y para efectos de orden se llevó a una tabla de efecto Ishikawa, ver tabla 7. Se decidió usar esta herramienta debido que permite a identificar, clasificar y mostrar las causas principales de un problema particular o alguna característica de calidad que se desee mejorar. Con esta herramienta se logra enseñar gráficamente la relación entre un resultado conocido, positivo o negativo, y todos los factores que influyen en dicho resultado, de esta manera permite identificar causas raíz de eventos, (Suarez y Rodriguez, 2018). Según (Ishikawa, 1985), en una empresa o compañía cerca del 95% de los problemas de calidad podrían resolverse las siete herramientas básicas de control de calidad de Ishikawa.

Para el caso de este trabajo en el diagrama de Ishikawa se identificaron 6 categorías: Personas; Máquina; Medio Ambiente; Tecnología; Método de trabajo y Medidas. para efectos de orden se llevó a una tabla de efecto o problema.

Tabla 7: Tabla efecto problema Ishikawa  
Fuente: Elaboración propia

<b>Efecto o problema</b>		<b>Diferencia de tonelaje entre molinos gemelos</b>	
<b>Nº</b>	<b>Categoría</b>	<b>Causa principal</b>	<b>Causa secundaria</b>
1	Personas	Baja capacidad técnica	Paradigmas /Desconoce prioridades
2	Personas	Falta liderazgo	Empoderamiento
3	Personas	Exceso actividades	Falta de planificación
4	Máquina	Motor con potencia menor	Falta de análisis
5	Máquina	Alimentador de bolas	Mal estado
6	Máquina	Puente grúa	Lentitud del equipo
7	Medio ambiente	Polvo en el área	Proceso sin mitigación de polvo
8	Medio ambiente	Vacaciones	Programa actividades sin continuidad
9	Tecnología	Control de adición de bolas	Falta de inversión desarrollo e innovación
10	Tecnología	Sistema de reportes	Falta documentación digital o mejor canal para emitir solicitud
11	Método	Procedimiento carguío	No hay integración entre áreas
12	Método	Plan de carguío inadecuado	Baja disponibilidad de personas
13	Método	Método calculo nivel de llenado de bolas	Método de cálculo

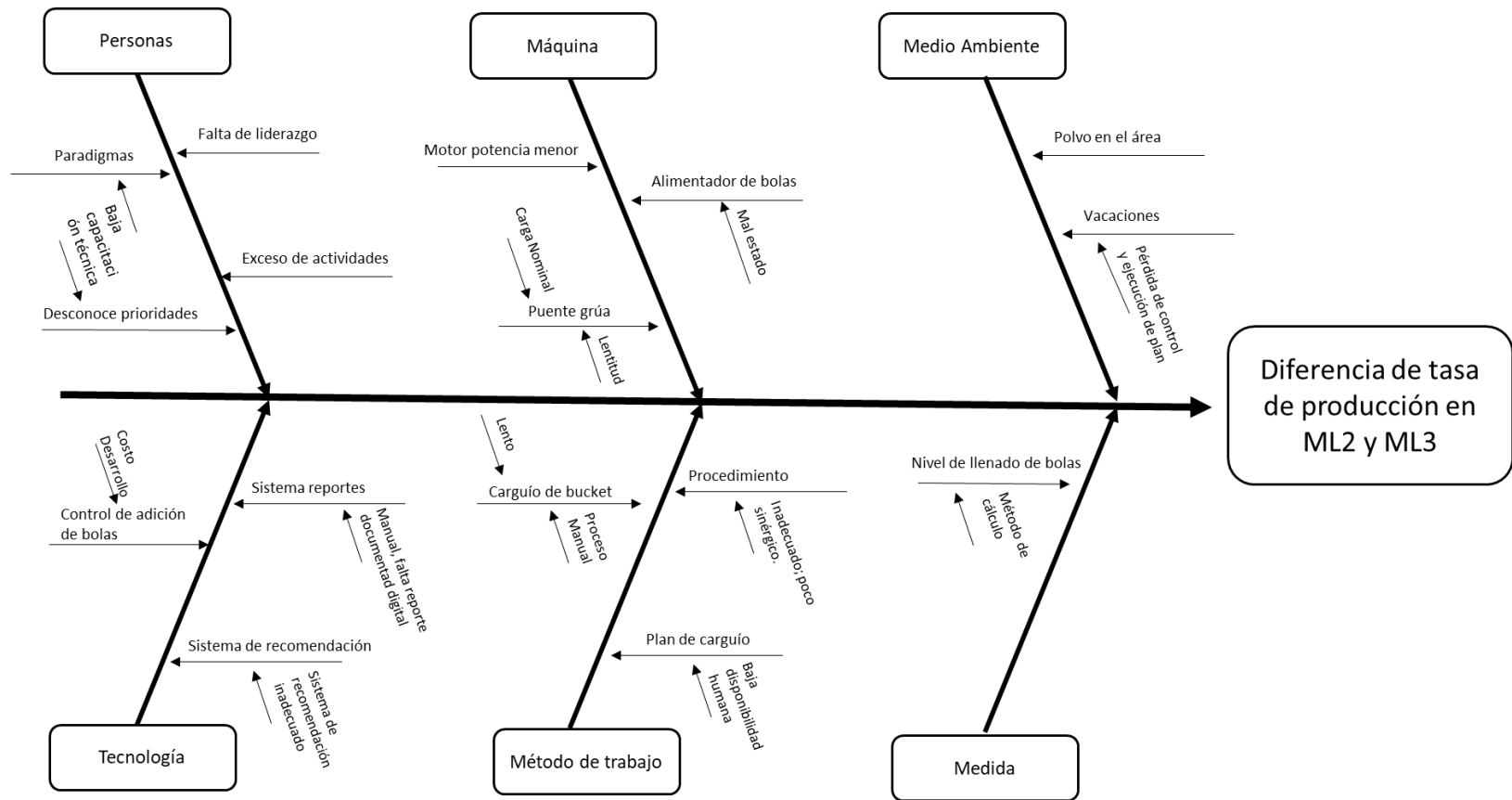


Figura 9: Diagrama de Ishikawa, diferencia tratamiento ML2 y ML3.  
Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de profundizar el entendimiento del problema y complementar la herramienta anterior se usó la técnica de los 5 Porqué, como se observa en la tabla 8. Los 5 por qué es una técnica simple pero que sirve para llegar a la raíz de cualquier problema. Consiste en preguntar y responder "por qué" cinco veces. Las 5 preguntas son un número arbitrario, pero por lo general 5 iteraciones son suficientes para llegar a la raíz de un problema, aunque puedan ser menos, (Ries, 2013).

Tabla 8: Herramienta 5 ¿Por qué?  
Fuente: Elaboración propia

Problema a estudiar	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	Resultado del análisis
Oportunidades que permitan incrementar la tasa de mineral procesado en la etapa de molienda	Diferencia tph molino 2 y molino 3	Potencia motor molino 2 es menor al motor molino 3	Molino 2 es mas antiguo, motor original, no se repotenció	No se hizo análisis de beneficio anteriormente	Paradigmas cultural de que no habría beneficio en corto plazo al cambiarlo.	Evaluación técnico-económica para cambio de motor.
	Diferencia de carguío de bolas planificado y real	No estaba en sus prioridades la actividad	Exceso de actividades	No hay plan de actividades	Falta liderazgo	Se adolece de capacitación de equipos y gestión operacional de las personas y procesos.
			No tiene claro la importancia del proceso de carguío de bolas	Falta Capacitación	Falta plan de capacitación	
				Falta sinergia con Gerencia Procesos	Plan de trabajo entre áreas	
Inexistencia de medición de conocimiento operacional	Existe pero no es formal.	No hay plan de gestión de personas.	Falta de gestión operacional	Liderazgo de equipos y negocio.	Se adolece de capacitación de equipos y gestión operacional de las personas y procesos.	
Inexistencia de KPI por turnos para control de gestión de equipos	Existe pero no es formal en la organización	No hay gestión operacional de los turnos, solo del proceso general.	No ha habido tiempo para la creación de un plan de cuadro de KPI	Pocos recursos personas para dedicación a la gestión de turnos.	Falta un cuadro de mando de KPI para la gestión de equipos.	

Se determinó que la empresa puede producir más libras de cobre anuales que lo producido en el último periodo bajo condiciones similares a las de hoy si se hacen cambios necesarios a nivel administrativo y máquina principalmente.

#### **2.2.4 Etapa Mejora y Control:**

En la etapa de análisis se identificaron potenciales oportunidades de mejora del proceso y alguna causa raíz del problema, por lo que en la etapa de mejora se realizaron sesiones de tormenta de ideas con el equipo de trabajo y con otros Stakeholders del proceso como personal de operaciones Planta para definir y formular ideas de mejora de desempeño. Las soluciones se evaluaron con el equipo con la herramienta de matriz de impacto v/s dificultad y se implementaron aquellas que bajo este instrumento se consideraron que generarán mayor valor al negocio. La implementación en su tiempo de ejecución dependería de los recursos y planificación de las gerencias a cargo del desarrollo de proyectos. El desempeño de algunas propuestas ejecutadas se observó durante un periodo de mayor a 2 meses.

La implementación de las soluciones fue apoyada por los principales líderes del proyecto y en colaboración con otras unidades estratégicas para su ejecución dentro de la compañía. Para generar una mayor cercanía del equipo de Planta Pedro Aguirre Cerda se realizan reuniones con equipo de mantención y operaciones con el fin de empoderar y solicitar soporte en diversas actividades relacionadas a su ejecución. Para hacer esta etapa ágil y con el fin de mejorar la comprensión del proyecto se realiza un Informe A3 para exponer el problema bajo una misma perspectiva, centrarse en lo importante y además facilitar la comunicación entre todos los involucrados por medio de la gestión visual de los datos e información. (ver en resultados)

### **2.3 Conclusión y análisis del capítulo**

Para concluir, la implementación de la metodología Lean DMAIC para la formulación y definición de proyectos de mejora continua en la Gerencia de Procesos de Planta PAC es viable y de fácil comprensión, debido a que se encuentra fundada en procesos lógicos y estructurados que permiten la generación de un espíritu más crítico sobre el proceso que apuntan a mejorar la competitividad y sostenibilidad general de la

empresa. Importante he de destacar que se concluyó por esta metodología debido a que no requiere grandes recursos para su implementación más allá del conocimiento de su metodología para su realización, y debido que cada paso es flexible en las herramientas que se puede utilizar para lograr definir, medir, analizar para luego implementar la mejora y controlar el proceso.

Para finalizar, la realización de las 3 primeras etapas de esta metodología es de suma importancia contar con el apoyo y soporte del equipo del proyecto, así como de otro involucrados que puedan entregar la información adecuada y que puedan contextualizar la data recopilada en el proceso de transformación de data en información. Lo anterior permitió reconocer los problemas desde su causa raíz e identificar otras oportunidades de mejora asociadas al proceso, que si bien su impacto conceptual puede ser menor a las causas principales generan las instancias de conversación y debate requeridos para en el futuro generar espíritus más críticos en la organización sobre los procesos actuales, lo que gatillara un inicio de formación a la mejora continua.

### **3 RESULTADOS**

Basado en los hallazgos obtenidos, se realizaron una serie de reuniones y conversatorios con el equipo de proceso, operaciones y mantención junto con una nutrida agenda de salidas a terreno para cubrir y analizar las potenciales soluciones sobre la problemática a resolver. Se presentaron soluciones a una serie de falencias y debilidades en el proceso a nivel ingenieril y administrativo, para ello se ocupó un diseño de intervención por matriz de impacto de iniciativas de mejora continua, la cual fue alimentada por medio de tormenta de ideas y grupos nominales junto con métodos de análisis de soluciones para la evaluación de alternativas, cuyos resultados se exponen en la tabla 9. En esta etapa la definición de dificultad e impacto de cada una de las iniciativas se consideró por medio de un modelo cualitativo con bases cuantitativas preliminares y en base a procesos de definición heurísticos de los involucrados de la compañía en el proceso.

Tabla 9: Tormenta de ideas con análisis de dificultad e impacto.  
Fuente: Elaboración propia

Nº	Solución / Explicación	Dificultad	Impacto
1	Cambio de motor	<b>Medio:</b> Solo costo CAPEX sujeto a evaluación corporativa, análisis técnico y económico. USD300.000	<b>Alto:</b> Incremento esperado en tonelaje de 2% en base a simulaciones metalúrgicas.
2	Capacitar al equipo en materias técnicas	<b>Bajo:</b> Gestión administrativa y definición de actividades que agreguen valor. Costos asociados estimados: USD10.000 (externo)	<b>Bajo:</b> No se esperan cambio sistemáticos de corto plazo, pero si mayor control operacional. No se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
3	Capacitar al equipo en prioridades operacionales	<b>Bajo:</b> Gestión administrativa y definición de actividades que agreguen valor. Costos asociados estimados: USD2.000 (externo)	<b>Bajo:</b> No se esperan cambio sistemáticos de corto plazo, pero si mayor control operacional. No se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
4	Capacitar a supervisores en liderazgo operacional	<b>Bajo:</b> Gestión administrativa y definición de actividades que agreguen valor. Costos asociados estimados: USD5.000 (externo)	<b>Medio:</b> No se esperan cambio sistemáticos de corto plazo, pero si mayor control operacional. No se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
5	Modificación al alimentador de bolas	<b>Alta:</b> Cambios estructurales físicos en la empresa. Costos asociados estimados: USD300.000	<b>Medio:</b> Permitiría reducir la variabilidad del proceso, asociándolo con optimización de proceso al automatizar la actividad, pero no se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
6	Repotenciar puente grúa y cambiar cajón de transporte	<b>Alta:</b> Cambios estructurales físicos en la empresa. Costos asociados estimados: USD40.000	<b>Bajo:</b> Reducir tiempos de operación de la actividad, pero no se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
7	Modificar bombas de impulsión	<b>Mediana:</b> Cambio de equipos actuales por otros nuevos. Cambio en la lógica de control de sistema de control de proceso. Costos asociados estimados: USD200.000	<b>Medio:</b> Se espera un incremento de 0.5% de mejora en producción.
8	Plan control de programa en periodo de vacaciones	<b>Bajo:</b> Gestión Administrativa. Sin costos asociados.	<b>Bajo:</b> Reducción de variabilidad en un 5%, a largo plazo se podría entender en incremento de producción <0.5%
9	Control tecnológico de adición de bolas de acero	<b>Alta:</b> Implementación de nuevas tecnologías, validar sistemas e implementarlas a sistema de control y lazos de control automáticos. Costos asociados estimados: USD100.000	<b>Medio:</b> Permitiría reducir la variabilidad del proceso, asociándolo con optimización de proceso al automatizar la actividad, pero no se vería menor al 0.5% en la producción de la planta.
10	Sistema de reporte en sala de control	<b>Medio:</b> Gestión administrativa, gestión del cambio de los procesos y personas. Costos económicos de USD20.000	<b>Bajo:</b> Mejora el control del sistema, generando presión en el sistema, pero no se esperan incrementos de producción mayores a 0.2%.
11	Cambio de método de medición llenado de bolas	<b>Bajo:</b> Gestión de procesos, no hay costos económicos asociados	<b>Bajo:</b> La reducción del error del modelo podría generar una reducción de la variabilidad menor al 2%, por ello un incremento de producción menor al 0.5%
12	Trabajar el motor al límite de la potencia nominal	<b>Bajo:</b> Gestión operacional. Costos esperados de USD150.00 anuales, los cuales se considerarían como costos operativos.	<b>Alto:</b> Incremento esperado en tonelaje de 2% en base a simulaciones metalúrgicas.

En la figura 10 se observa la construcción de la matriz de iniciativas (beneficio y dificultad) donde se integran cada uno de los proyectos expuestos en el proceso de tormenta de ideas y grupos nominales. Para generar la matriz se crearon tres niveles para el beneficio y su dificultad. Para ambos ejes se midió como Bajo; Medio y Alto.

Bajo criterio del grupo de trabajo, se estableció que los recuadros de color rojo se identificarían como proyectos menos prioritarios debido a su bajo/medio impacto y alta/media complejidad y los recuadros de color verdes se identificarían como los proyectos prioritarios debido a su baja/medio dificultad y alto/medio impacto. En cuanto a los recuadros de color amarillo, se identificaron como proyectos de segunda prioridad.

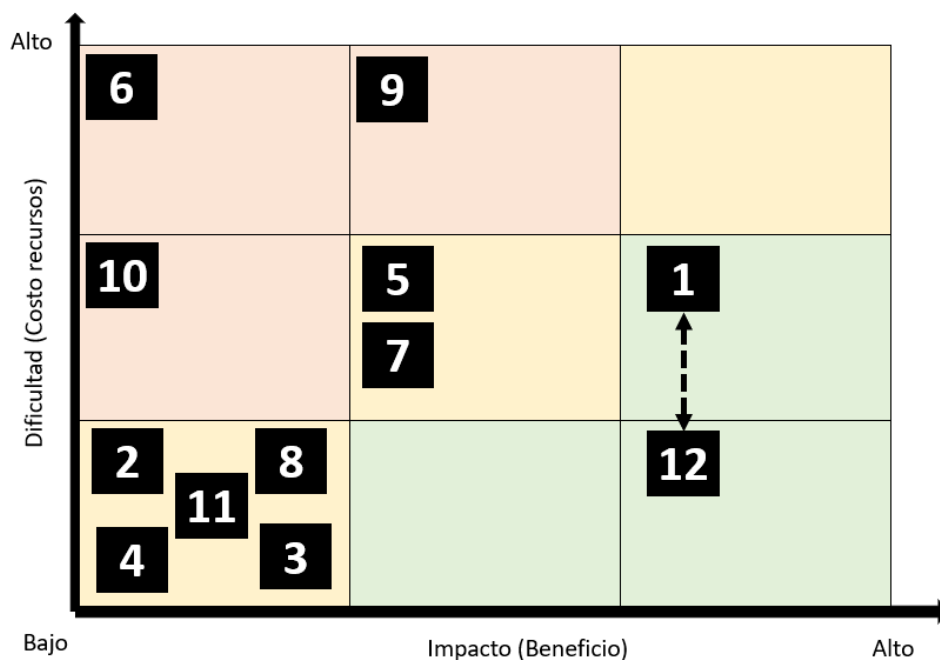


Figura 10: Diagrama de impacto de iniciativas de mejora continua  
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz de iniciativas mostraron que preliminar y conceptualmente los proyectos que tenían un alto índice de generar valor para la organización eran el proyecto 1 y 12, (referencia tabla 9). El proyecto 1 consistía en el cambio de motor del molino N.º 2 que permitiría trabajar con mayor carga de tratamiento mineral sin riesgo de quemar el motor, mientras que el proyecto 12 radicaba en trabajar el equipo al límite de su potencia nominal con el riesgo de tener que realizar mantenencias periódicas al motor o sobrecargarlo, pero que también permitía incrementar el rendimiento de la tasa de producción. Ambas iniciativas

apuntaron a incrementar el tonelaje del equipo y con ellos el incremento de las libras de cobre al mes, sin embargo, ambos proyectos no podían coexistir en forma paralela. Por ello en esta etapa se generó una evaluación técnica económica entre ambos proyectos y el caso base, para determinar efectivamente el valor de uno sobre el otro, evaluación que se encuentra en el anexo 5. Con la evaluación económica realizada se determinó por métodos cuantitativos que el proyecto 1 generaba un incremento neto de MUSD 7,0 sobre el proyecto 12, por lo que se decidió por avanzar con el proyecto 1.

Por otro lado dada la baja complejidad de algunas soluciones se decidió implementar recursos administrativos que permitieran estandarizar el proceso de molienda y evitar sesgos entre lo planificado y lo real. La tabla 10 a continuación indica un resumen de las soluciones de ingeniería definidas para implementación, mientras que la tabla 11 presenta las soluciones de índole administrativo que se decidieron para ser implementadas por la organización.

Tabla 10: Resumen de soluciones de ingeniería definidas para implementación.  
Fuente: Elaboración propia

Soluciones implementadas	
Medidas de Ingeniería	Detalle
Cambio de motor Molino N°2	Se definió cambiar el motor del equipo molino N°2 de 915 HP a un motor de 1000 HP, esto generaría una potencia suficiente para adicionar 5% más de bolas de acero al molino e incrementar la tasa de procesamiento en un 3% aproximadamente.
Cambio de cargador de bolas de acero a los molinos.	El equipo actual genera problemas de producción debido a su diseño, lo que genera que la carga de material alimentado se tenga que reducir al momento de cargar bolas de acero.

Tabla 11: Resumen de soluciones administrativas definidas para implementación.  
Fuente: Elaboración propia

Soluciones implementadas	
Medidas administrativas	Detalles
Capacitación técnica operadores	Se realizaron capacitaciones a los equipos de trabajo en área de molienda para conocer en profundidad cada una de las variables del proceso y su impacto en la producción.
Evaluaciones técnicas	En periodos anuales se realizaron evaluaciones sobre conocimiento operacional.
Lineamientos operativos	Se realizan reuniones para crear convergencia entre los requerimientos del área de procesos metalúrgicos y la operación. Con esto se dio paso a un entendimiento de cuales son las prioridades operacionales entre ambas partes.
Cuadro de mando operacional	Se crea un cuadro de mando operacional que permite conocer las estadísticas de los principales parámetros de control de la planta y se genera con ello la oportunidad de puntuar a los turnos de acuerdo a su desempeño. En revisión debido a variables que impactan directamente en los resultados y que son externalidades como mantenciones no programadas o fallas en equipos que dañan la calidad del producto.

En base a los proyectos de mejor continúa definidos para su implementación se realizó un Informe del tipo Lean A3 para exponer el problema bajo una misma perspectiva al equipo de mejora continua, con el objetivo de centrarse en lo importante y alinear los intereses de los involucrados. Se eligió esta herramienta debido que fomenta el diálogo productivo y ayuda a las personas a aprender unas de otras, finalmente su formato es simple y esbelto lo que permite tener claridad de la actividad, de alguna manera obliga a seguir una disciplina que lleva a abordar la resolución de problemas de una forma ordenada y eficaz, (Papic, Gadolina, Pantelic y Papic, 2019). En la figura 11 se observa el reporte generado por el equipo.

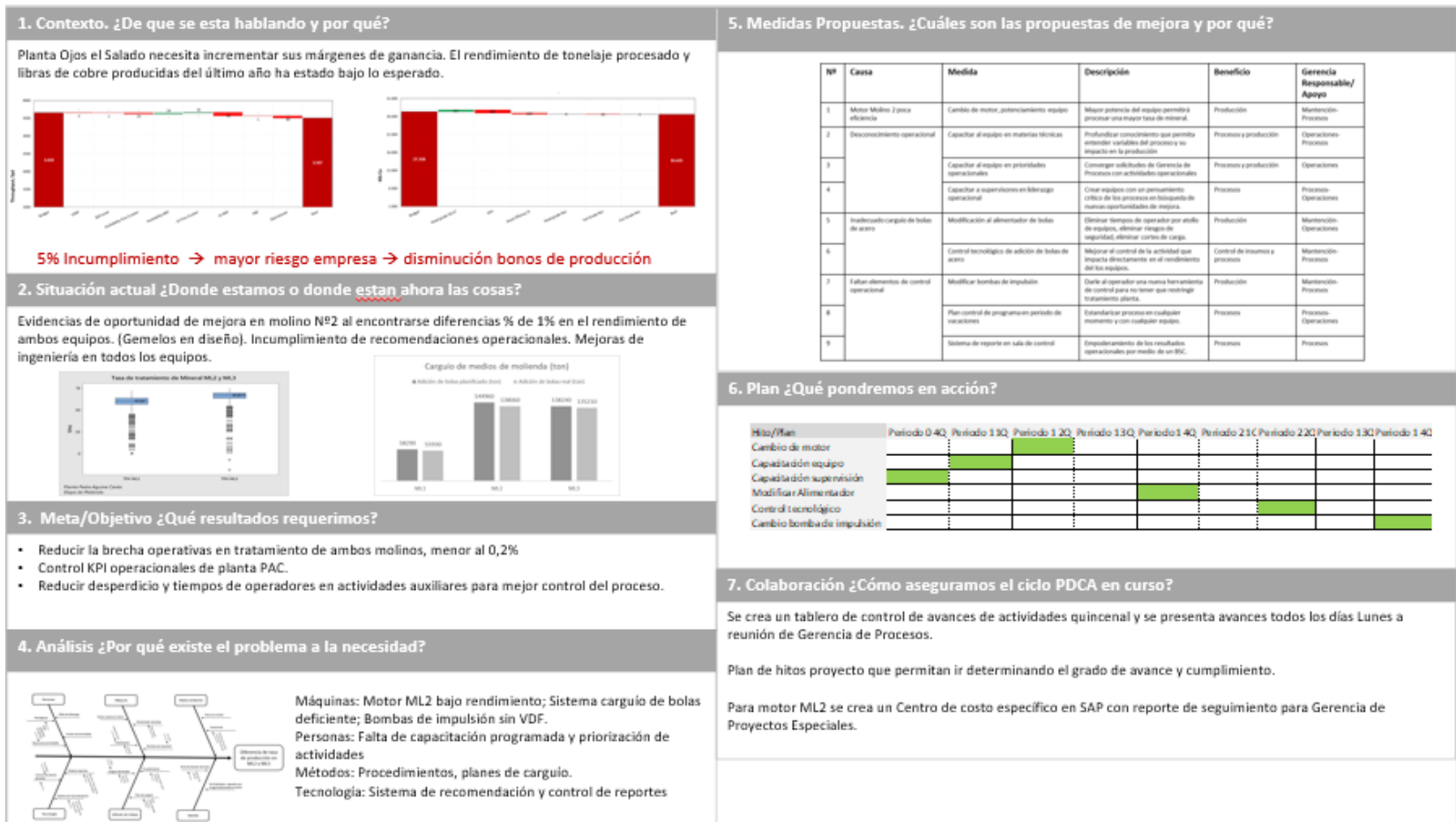


Figura 11: Informe A3 presentación y seguimiento de proyectos  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que, si bien se declararon inicialmente proyectos e iniciativas con plazos para su ejecución, estos estaban supeditados a la evaluación técnico-económica y los Budget de costos de la gerencia general, por lo que algunos proyectos cambiaron sus plazos iniciales para futuros periodos en donde se declarasen inversión en proyectos de mejora continua.

En relación con los proyectos ejecutados, el proyecto de cambio de motor significó un cambio incremental y positivo en la producción, tal como lo indica la figura 12 y 13. La evaluación y control fue realizada con un periodo de 16 meses tomando la tasa de producción diaria antes y después del cambio de motor. Los resultados indican un incremento de la tasa de producción de 5 toneladas por hora, que significó porcentualmente un incremento de 8%, reflejado en 849 klb de cobre anuales adicionales (con un margen de 0,65 USD/lb), significó un ingreso adicional de US\$377207 por la ejecución del proyecto de mejora continua el primer año con un costo de inversión único de US\$261301.

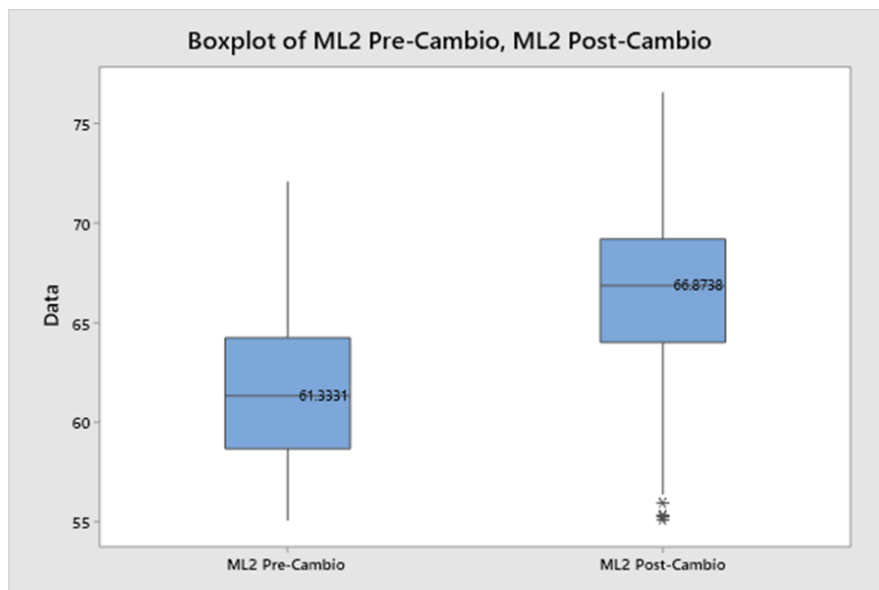


Figura 12: Comparativa tph en Molino N2 antes y después de cambio de motor en Boxplot.

Fuente: Elaboración propia.

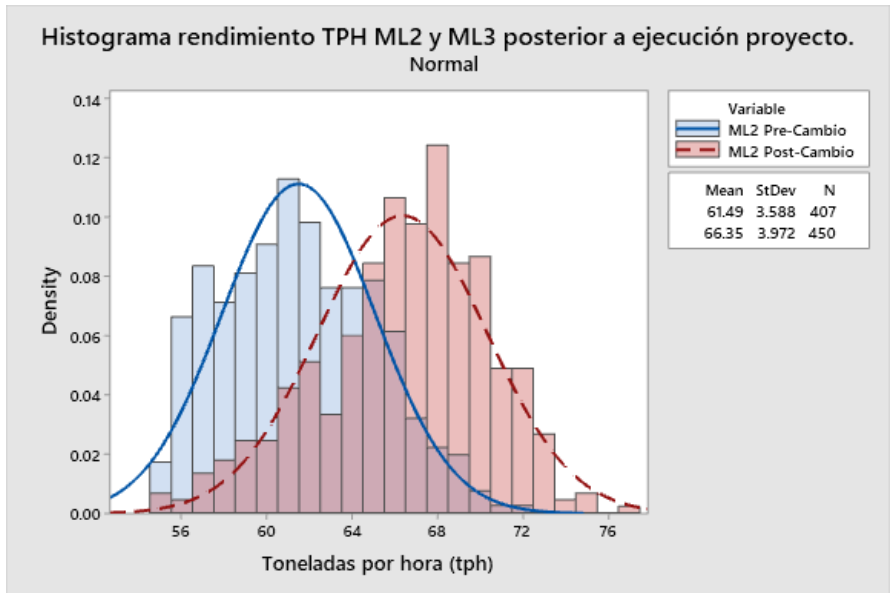


Figura 13: Comparativa tph ML2 antes y después de cambio de motor por medio de histograma.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al rendimiento del equipo en relación con su equipo “gemelo” se puede indicar que la diferencia de 8% analizada en primeras etapas se redujo a 0,2% al realizar el mismo análisis en un periodo de 16 meses posterior al cambio de motor, como se indica en las figuras 14 y 15. Cabe destacar que en los procesos de minería existe variabilidad en los procesos relacionados a factores externos como tipo de mineral procesado, así como su granulometría de entrada. Con el incremento de producción del ML2 y la reducción de la brecha entre equipos gemelos se pudo establecer el éxito de los proyectos realizados hasta ese momento.

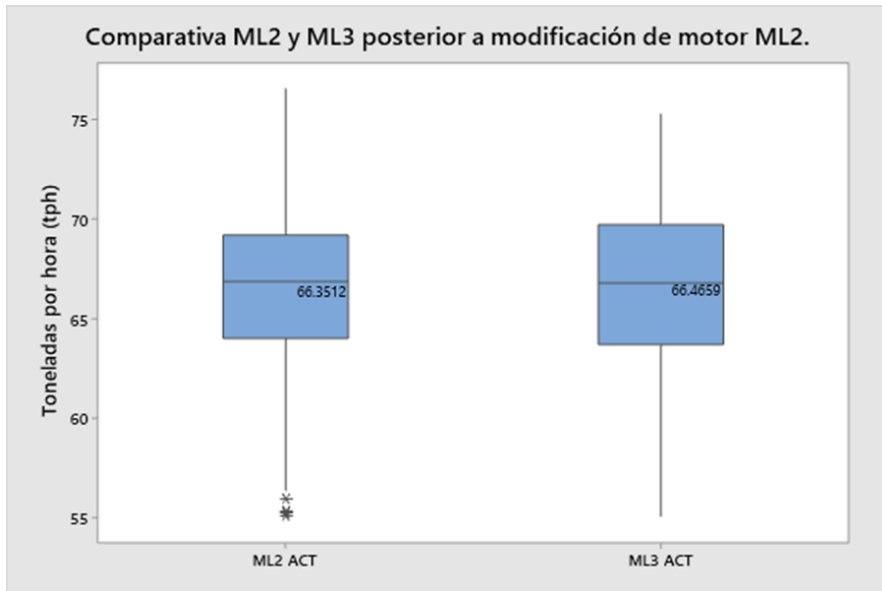


Figura 14: Comparativa tph ML2 y ML3 posterior a cambio de motor por gráfica Boxplot.  
Fuente: Elaboración propia

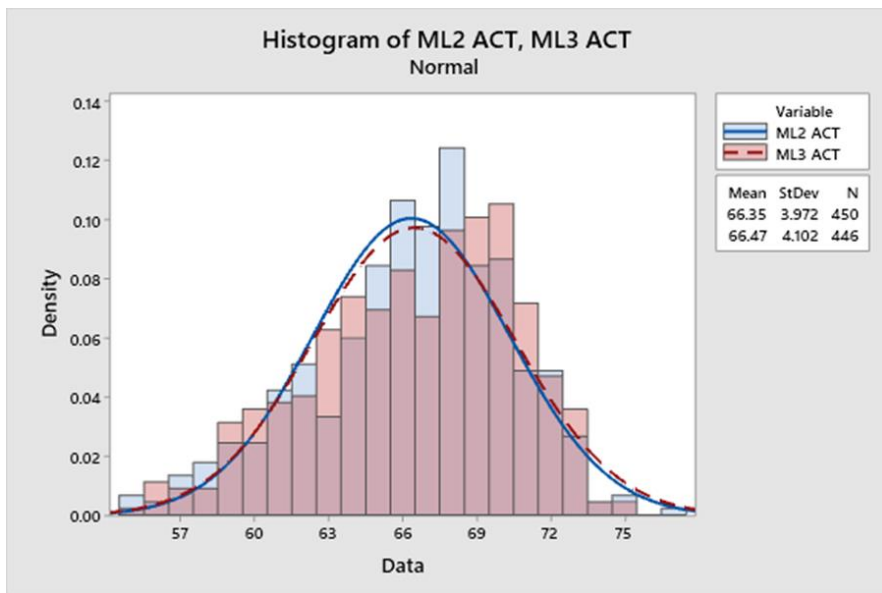


Figura 15: Comparativa tph ML2 y ML3 posterior a cambio de motor por histograma.  
Fuente: Elaboración propia

En relación con la definición e implementación de soluciones de carácter administrativas, se logró crear un Cuadro de Mando Integral (CMI) que permitió establecer KPI específicos y metas para cada área unitaria del proceso, con objeto de

realizar seguimiento y control tanto a nivel general como para cada turno de trabajo, tal como lo indica la tabla 12. Esto permitió otorgar una herramienta de control a nivel de la dirección de manera mensual, por área y turno, que permitió mejorar la visión global operativa con el fin de detectar brechas del proceso o de las personas involucradas en cada área y con ello gestionar la reducción de las pérdidas en el corto plazo.

Tabla 12: Cumplimiento KPI General Turnos de la planta concentradora  
Fuente: Elaboración propia

COMPARATIVA GENERAL											
ÁREA - OPERACIÓN	PESO	ACCIONES	KPI	FREC	MIN	MAX	META	G1	G4	G2	G3
<b>Chancado Fino</b>	<b>20,00%</b>										
1	50%	Toneladas por turno CV7	Ton	Diaria	1878,76		1972,7	86%	80%	98%	98%
2	25%	Potencia CR ST	Kw	Diaria	20,00	28,00	24,0	83%	83%	88%	89%
3	25%	Potencia CR TR	Kw	Diaria	35,00	55,00	45,0	84%	86%	94%	92%
								84%	83%	94%	93%
<b>Molienda</b>	<b>25,00%</b>										
1	30%	Toneladas por Turno	Ton	Diaria	148,96		156,4	94%	99%	94%	93%
5	18%	Control Malla #100 Alim Roug	%	Diaria	30,00	34,00	32,0	57%	43%	60%	58%
								87%	88%	88%	86%
<b>Flotación</b>	<b>25,00%</b>										
1	20%	Ley de concentrado final	%	Diaria	29,00		30,0	95%	94%	94%	96%
2	20%	Recuperación	%	Diaria	91,50		93,5	98%	90%	100%	93%
3	20%	PH Rougher	PH	Diaria	8,70	9,30	9,0	90%	89%	85%	90%
4	20%	PH Cleaner	PH	Diaria	9,80	10,40	10,1	95%	92%	89%	91%
5	20%	Toneladas por Turno	Ton	Diaria	148,96	0,00	156,4	94%	99%	94%	93%
								96%	92%	95%	93%
<b>Filtro</b>	<b>15,00%</b>										
1	50%	Humedad Concentrad filtrado	%	Diaria	8,5	10,5	9,5	78%	82%	79%	83%
2	50%	Toneladas filtadas	ton	Diaria	38,5		42,4	42%	57%	66%	65%
								60%	69%	72%	74%
<b>Relave</b>	<b>15,00%</b>										
1	35%	Flujo de impulsión	m3/h	Diaria	360,0	390,0	375,0	75%	76%	85%	87%
2	35%	Presión de impulsión	Psi	Diaria	760,0	790,0	775,0	69%	62%	69%	63%
3	30%	Toneladas por Turno	Ton	Diaria	149,0		156,4	94%	99%	94%	93%
								79%	78%	82%	81%
<b>RESULTADO GLOBAL MES</b>								83%	84%	88%	87%

De igual manera como lo indica la tabla 13 esta herramienta también facilitó a la supervisión de terreno o jefes de turno poder detectar los resultados operativos diarios de cada una de sus áreas de influencia, con el fin de tomar acción con sus equipos de trabajo en terreno de manera oportuna, y reducir las brechas antes de que los resultados mensuales indiquen alguna deficiencia.

Tabla 13: Indicadores principales por turnos evaluados durante el mes, recortado hasta día 15.  
Fuente: Elaboración propia

GRUPO 1																					
ÁREA - OPERACIÓN	PESO	ACCIONES	MIN	MAX	META	DÍA DEL MES															
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>Chancado Fino</b>	<b>20,00%</b>																				
1	30%	Toneladas por turno CV7	1267,00		1553,0	Ton	1911				1930	2057	1508	1928					1763	1406	
						Nota	87				95	100	66	100					82	60	
4	15%	Potencia CR ST	25,00	30,00	35,0	Kw	25				25	26	25	24					25	25	
						Nota	80				81	85	82	74					83	78	
5	15%	Potencia CR TR	35,00	45,00	40,0	Kw	35				36	40	35	37					35	32	
						Nota	79				84	96	81	86					81	62	
<b>RESULTADO DÍA</b>																					
<b>Molienda</b>	<b>20,00%</b>																				
1	30%	Toneladas por Turno	156,25		162,50	Ton	169				167	158	151	161					0	159	
						Nota	100				100	100	84	100					100	100	
5	18%	Control Malla #100 Alim Rough	30,00	33,00	32,00	%	30,6				27,2	25,2	24,8	30,7						26,2	
						Nota	86				52	32	28	87						42	
<b>RESULTADO DÍA</b>																					
<b>Flotación</b>	<b>20,00%</b>																				
1	20%	Ley de concentrado final	29,00	0,00	31,00	%	30,2				30,0	30,7	31,6	30,6					29,7	31,8	
						Nota	93				92	98	100	97					89	100	
2	20%	Recuperación	91,50	0,00	93,50	%	95,4				97,2	96,3	95,9	97,4					91,6	94,3	
						Nota	100				100	100	100	100					81	100	
6	10%	PH Rougher	9,10	9,50	9,30	PH	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	
						Nota															
7	10%	PH Cleaner	9,90	10,10	10,00	PH	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	
						Nota															
8	5%	Control malla Alim Columna	70,00	76,00	73,00	%	0,0				0,0	68,0	69,0	0,0					0,0	69,4	
						Nota	0				0	44	65	0					0	71	
9	5%	Control malla Conc Final	85,00	92,00	90,00	%	0,0				0,0	88,7	85,4	0,0					0,0	93,4	
						Nota	0				0	101	72	0					0	58	
<b>RESULTADO DÍA</b>																					
<b>Filtro</b>	<b>20,00%</b>																				
1	50%	Humedad Concentrad filtrado	8,00	10,00	9,00	%	9,2				8,2	9,2	8,2	8,2					8,2	8,2	
						Nota	99				67	98	67	67					67	67	
2	50%	Toneladas filtadas	30,00		40,00	ton	63				41	24	36	5					0	22	
						Nota	100				91	4	66	0						0	
<b>RESULTADO DÍA</b>																					
<b>Relave</b>	<b>20,00%</b>																				
1	50%	Flujo de impulsión	380,00	400,00	390,00	m3/h	381				365	383	373	385						369	
						Nota	90				44	94	72	96						60	
2	50%	Presión Impulsion	760,00	790,00	775,00	psi	770				763	767	752	759						746	
						Nota	93				81	90	49	72						20	

A nivel general y en sintonía con en el desarrollo de la gestión de riesgo operacional, esta herramienta dio la oportunidad de poder identificar cuáles eran las áreas donde más problemas había para alcanzar los KPI específicos en periodos de tiempo determinados, problemas que fuesen constantes y que pudiesen estar entregando señales de deficiencias mayores en los procesos y que requerían atención a nivel general, como se indica a manera de ejemplo en la figura 16.

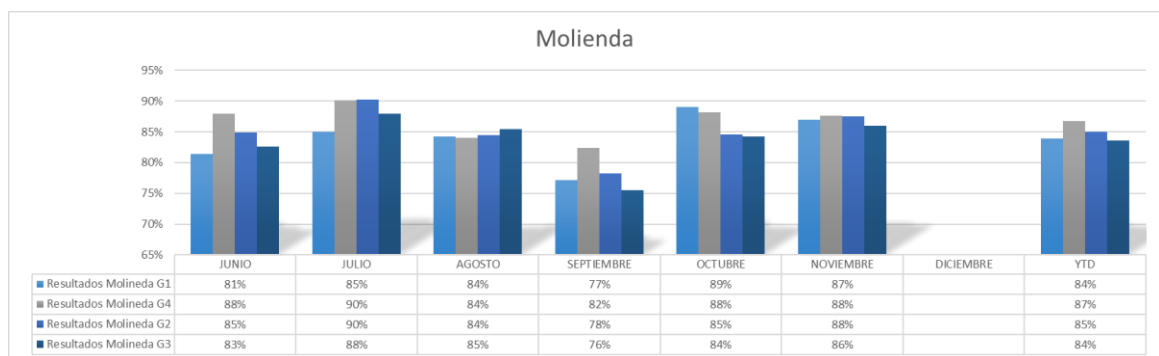


Figura 16: Ejemplo de gráfica de control para etapa de molienda  
Fuente: Elaboración propia.

Algunos proyectos se encontraban en etapa de planificación como el proyecto de capacitación y evaluación de conocimientos teórico-prácticos de la operación, así como la definición de lineamiento entre diferentes Gerencias que interactúan en la Planta concentradora Pedro Aguirre Cerda.

A nivel de proyectos de Ingeniería el cambio del sistema de carguío de bolas aún sigue sometido a procesos de análisis legislativo y técnico económico, debido a que por la antigüedad de la empresa el proyecto minero se encuentra jurídicamente supeditado a las leyes medioambientales anteriores a la reforma y creación del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) que administra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) que entró en vigencia el 3 de abril del año 1997, lo que significa que la incorporación de nuevos equipamientos que ocupen superficie nueva dentro de la planta considera entrar en el SEIA y ser evaluado bajo los nuevos estándares legales, por lo que cualquier implementación de nuevos equipos puede

suponer un costo administrativo y económico superior al proyecto, generando un riesgo nuevo al negocio de no poder cumplir con el SEIA en alguno de sus estudios y que obligue a la empresa tener que implementar nuevos proyectos para cumplir con la ley vigente, que económicamente no sea rentable y que finalmente termine en el peor escenario con el cierre del negocio.

Habiendo hecho un barrido por los proyectos ejecutados y en proceso de ejecución, es importante mencionar que a nivel macro se reduce el riesgo de los stakeholders mencionados en la Figura 5 de este trabajo y que están relacionados a compromisos y actividades que se ven afectados con la tasa y calidad de producción de la planta concentradora.

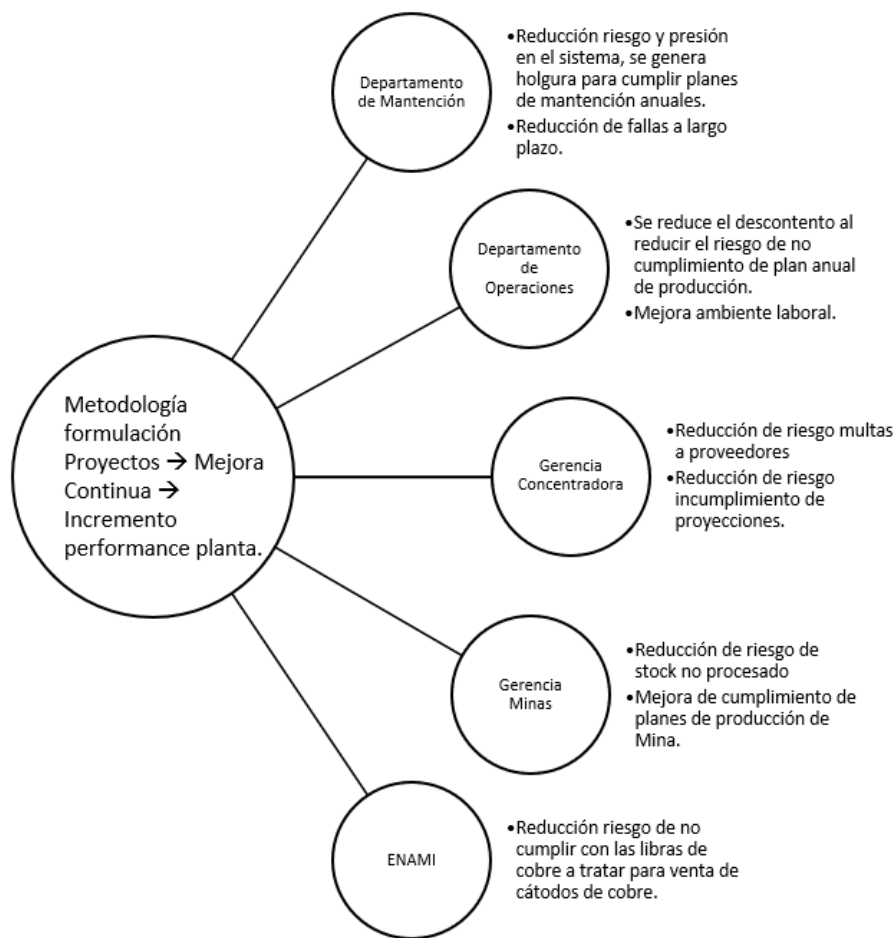


Figura 17. Impacto de la propuesta metodológica sobre ecosistema de stakeholders.  
Fuente: Elaboración propia

### **3.1 Conclusión y análisis del capítulo**

La aplicación de la metodología DMAIC y herramientas de calidad, son pertinente para formular y definir proyectos de mejora continua en plantas concentradoras de mediana minería. En este proyecto habiendo establecido un equipo de trabajo, un proceso estructurado y definido herramientas que recogieran el requerimiento crítico del cliente, la problemática e identificar su causa raíz; permitió formular y definir variadas soluciones de ingeniería y también de carácter administrativo en la etapa unitaria de molienda que se tradujo en la optimización del rendimiento de la planta concentradora. Lo anterior permitió no solo permitió incrementar la tasa de producción de libras de cobre y con ello un mejor balance económico anual de corto plazo, sino que también genero condiciones para mejorar la gestión de los procesos operacionales de los equipos. Ambos logros se pueden entender como nuevas condiciones operativas que reducen en su conjunto el riesgo del negocio.

#### **4 CONCLUSIONES GENERALES**

Este trabajo establece que los elementos de acción operativa que proporcionan un desarrollo efectivo en la formulación y definición de proyectos de mejora continua en los procesos son: en una primera etapa la Definición del RCC; Medición del proceso y Búsqueda y Análisis de causa raíz de la problemática, y en una segunda fase Mejorar y Controlar el proceso por medio de herramientas clásicas de mejora continua. En este sentido se propuso un proceso que permitió valorar crítica y organizadamente la formulación y definición de proyectos para buscar oportunidades de mejoras incrementalmente de los procesos de la empresa y con ello facilitó la generación de valor en la organización. En efecto los resultados muestran que la aplicación de la metodología DMAIC habiendo definido la problemática y su causa raíz permitió formular y definir variadas soluciones de índole administrativa e ingenieril para optimizar los procesos de la planta concentradora. A nivel administrativo se definió la capacitación y evaluación del equipo de trabajo operacional, el lineamiento entre Gerencias para el desarrollo de programas de trabajo y la generación de un cuadro de mando integral de operaciones en todos sus turnos. A nivel ingenieril, se definió cambio de motor de molino 2 y cambio de sistema de carguío de bolas de acero a molinos. Si bien al término de este trabajo no todas las iniciativas fueron implementadas, el cambio de motor significó un incremento de un 3 % en las libras vendibles por mes y a nivel de gestión se implementaron nuevas herramientas de control que apoyan la gestión de corto plazo del proceso.

Se estudió la relación entre herramientas de gestión de proyectos de mejora continua y su conveniencia en una metodología para formular proyectos, para ello se consideró la revisión de información del último año en la gerencia de operaciones/procesos de Planta PAC en materia de generación de proyectos de la compañía y se buscaron herramientas básicas de mejora continua para aplicarlas con el equipo designado.

También se analizaron las herramientas metodológicas propuestas y su valor agregado al proceso de formulación y definición de proyectos. Para lo cual se tomaron herramientas básicas de mejoramiento continuo y se aplicaron en diferentes etapas de la metodología DMAIC, desde la definición de problemas hasta el control del proceso habiendo aplicado mejoras incrementales.

Se propuso finalmente a la alta dirección de la planta concentradora un modelo para formular proyectos de manera estructurada para el equipo de trabajo de la Planta PAC y que permitiese ser escalable a otros procesos y equipos para la generación de valor y reducción de riesgos del negocio.

Dicho esto, este proyecto contribuye a la comprensión de como procesos estructurados y bien formulados influyen en la capacidad del equipo para entender el problema, medirlo, analizarlo, mejorarlo y controlarlo, con ello resolver problemas o mejorar condiciones actuales que presentan oportunidades y que impactarán de manera positiva en la producción, costos y mitigación de amenazas generales al negocio.

Es importante acentuar que el involucramiento y colaboración de las partes interesadas en el proyecto, desde el patrocinador hasta sus ejecutores son fundamentales para el éxito del proceso del proyecto y su desarrollo. De igual manera es transcendental que al menos a nivel organizacional o jerárquico, desde un jefe de área hasta el gerente de unidad, acompañen al equipo en ir validando las herramientas y sus soluciones con el fin de que el equipo Lean adopte la metodología con la menor resistencia posible. En el caso de este proyecto se consideró usar la herramienta DMAIC por ser más conocida en la organización y debido que su planteamiento no fue contrastado con otras metodologías en su momento.

Un elemento de suma relevancia para encontrarlas las oportunidades en una organización es derribar los paradigmas del cómo se hacen, desarrollan o ejecutan los procesos de la compañía a nivel operativo. En las etapas de metodología DMAIC

Definir, Medir y Analizar podemos capturar defectos u oportunidades que, si bien parece obvio, se camuflan en la cultura organizacional a nivel operativo y sin una estructura para resolver problemas es difícil resaltar su importancia en el negocio, haciéndose invisibles e el alto nivel organizacional.

Para finalizar, las medianas empresas del sector minero, por medio de equipos de trabajo, deben priorizar el uso de metodologías, herramientas mecanismo que permitan enfrentar la resolución de problemas o búsqueda de oportunidades de manera más lógicas y estructuradas con el fin de capturar valor oculto en su organización a nivel local. En el caso de esta investigación de acción, el uso de la metodología permitió a la empresa mejorar su performance operacional con mayor proyección de producción de libras anuales en los años venideros.

#### **4.1 Propuestas para trabajos futuros.**

En base a la información recopilada en este estudio no queda suficientemente claras las restricciones que podría generar la formulación y definición de proyectos con metodología DMAIC en equipos de trabajo cuya composición, número, conocimiento de la metodología sea distinta a la expuesta en este trabajo y que pueda afectar la agilidad del proceso, lo anterior también en razón de limitaciones como la zona geográfica, el tamaño de la muestra, el entorno específico, la actividad económica de la empresa y práctica empleada. Lo anterior se podría volver relevante en empresas de pequeña y mediana minería donde los recursos capitales y humano podrían ser aún más limitados que en este caso de estudio práctico o en empresas grandes donde la complejidad de los procesos y el estrés del sistema desfavorezca la agilidad que la metodología DMAIC generó en este trabajo. Por ende, se propone buscar metodologías alternativas para analizar mejorar propias del proceso de formulación o buscar formular y definir de proyectos de mejora con metodologías íntegramente ligadas a la ISO 9004:2018. Finalmente cabe preguntarse ¿Cuál es el factor de peso que tiene la alta dirección en la generación, formulación y definición de proyectos en las unidades operacionales? ¿Puede un mejor proceso motivar y potenciar una

cultura de mejora sostenible? Si bien en el caso de este trabajo se logró evidenciar mejoras en el proceso, no necesariamente se sistematiza o perdurarán en el tiempo.

Para finalizar, una pregunta que es importante realizar es ¿en qué grado son las organizaciones conscientes de sus restricciones legales en materia comunitaria, legal y medio ambiental a la hora de ejecutar proyectos?, para este trabajo una falencia fue que el equipo de desarrollo no conocía algunos de estos aspectos, los cuales terminaron castrando proyectos debido a su naturaleza que se contraponía con compromisos medio ambientales bajo una antigua legislación.

## **5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Acosta, P., Chicaiza, E., Acosta, I., Salvador, L., y Gonzalez, M. (2021). Towards Industry Improvement in Manufacturing with DMAIC. Systems and Information Sciences, 1273, 341-352. doi: 10.1007/978-3-030-59194-6\_28*
- Azizi, A., Rooki, R., y Mollayi, N. (2020). Modeling and prediction of wear rate of grinding media in mineral processing industry using multiple kernel support vector machine. Springer Nature Switzerland, 2(1469), 23-25. doi: 10.1007/s42452-020-03212-0*
- Basantes, J. (2020). Planificación estratégica para la compañía geoproc. Cía. Ltda. En la ciudad de puyo. Tesis de Licenciatura en administración de empresas. Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Puyo, Ecuador, 12-14.*
- Caicedo, N. (2013). Implementación del programa Seis Sigma para desarrollo sostenible en consumo de químicos en procesos litográficos. Producción + Limpia, 8(2), 21-31. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10567/1253>*
- Christianson, J., Warrick, L., Howard, R., y Vollum, J. (2005). Deploying Six Sigma in a Health Care System as a Work in Progress. The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, 31(11), 603-613. doi: 10.1016/S1553-7250(05)31078-6.*
- Crispieri, G. (2019). Factores de éxito y fracaso en la gestión de proyectos: un enfoque en las mejores prácticas. Project, Design and Management, 1(1), 65-76. doi: 10.35992/mlspdm.v1i1.172*
- Cusco, A., y Sánchez, M. (2019). Propuesta de mejora continua en el proceso de producción de una planta de plásticos mediante la metodología PDCA y manufactura esbelta. Tesis de Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 4-8.*

- Escobar, D., y Serna, L. (2018). *Plataforma para la aplicación de herramientas de calidad en organizaciones empleando tecnologías web 2.0. Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas. Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia, 23-32.*
- Esquivel, A., León, R., y Castellanos, G. (2017). *Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. Retos de la Dirección, 11(2), 56-72. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552017000200005&lng=es&tln=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552017000200005&lng=es&tln=es).*
- Farrate, L., y Jaquenod, M. (2018). *Desmotivación en el Capital Humano, sus causas y consecuencias, en Konecta S.A. Tesis de licenciatura en Administración. Universidad de la Defensa Nacional, Buenos Aires, Argentina, 16-22.*
- García, J., Durán, E., Cardeño, E., Prieto, R., García, E., y Paz, A. (2017) *Proceso de planificación estratégica: Etapas ejecutadas en pequeñas y medianas empresas para optimizar la competitividad. Revista Espacios, 38(52), 16. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11323/2150>*
- Gisbert, V., Pérez, A., Bernabéu, E., Valor, M., Vida, B., Brotons, F., Lema, S. (2018) *Cuadernos de investigación aplicada. 3 Ciencias, 27-35. doi: 10.17993/EcoOrgyCso.2018.47*
- Gonzales, H. (2019). *Implementación de un sistema de control interno de indicadores para reducir los costos de producción en un proyecto minera tajo abierto. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 1-8.*
- González, C. (2019). *Proyección de la producción de cobre en Chile 2019 – 2030. Santiago: Comisión Chilena del Cobre, 2-9.*
- Improta, G., Balato, G., Romano, M, et al. (2017) *Improving performances of the knee replacement surgery process by applying DMAIC principles. Journal Evaluation in Clinical Practice, 23(6), 1-7. doi:10.1111/jep.12810*

- Iñiguez, P. (2020). Propuesta de mejora de la línea de producción de las botellas de 250 ml, mediante la gestión por procesos y el uso de herramientas lean. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil Industrial. Universidad De Las Américas, Quito, Ecuador, 8-10.*
- Ishikawa, K. (1985), What is Total Quality Control? Prentice Hall, Englewood Cliff, New York, NY.*
- Kęsek, M., Bogacz, P., y Migza, M. (2019) The application of Lean Management and Six Sigma tools in global mining enterprises, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 214(012090), 1-7, doi: 10.1088/1755-1315/214/1/012090*
- Klumbite, E., Bliudzius, R., y Foikades, P. (2019). A SIPOC based model for the sustainable management of facilities in social housing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 410(12081), 23-25. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/410/1/012081/pdf>*
- Lindhorst, C., y Baghetti, M. (2019). Reporte anual 2019. Santiago: Consejo Minero, 4.*
- Marulanda, A., y Echandía, L. (2019). Estrategias para la implementación del pilar de mejoras enfocadas en un proceso industrial. Asociación de Ingenieros de Colombia, 1(1), 1-2, Recuperado de: [https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19028\\_TRA\\_COL\\_A\\_MARULANDA\\_CIMGA2019.pdf](https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19028_TRA_COL_A_MARULANDA_CIMGA2019.pdf)*
- Minaya, D. (2020). Implementación de la filosofía Lean en la mejora de procesos de construcción en la empresa “HTC contratistas SRL”. Tesis de Doctorado en Administración. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú, 18-24.*
- Montes, H. (2015). Modelación geo metalúrgica del proceso de flotación basado en mineralogía y ensayos metalúrgicos. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería mención en Metalurgia Extractiva. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1-2.*

- Organización Internacional de Normalización. (2010). Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos (ISO 9001). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>*
- Pabón, Z., Estrada, L., Royero, A., Osorio, G., Carmona, R., y Palacio, A. (2020). Aplicación de herramientas de control de calidad en una pequeña panadería. Un estudio de caso. Boletín De Innovación, Logística y Operaciones, 2(1), 31-37. doi: 10.17981/bilo.2.1.2020.6*
- Papic, L., Gadolina, I., Pantelic, M., y Papic, N. (2019). Mining machines accident problem solving via the Toyota A3 Report. Dependability, 19(4), 32-44. doi: 10.21683/1729-2646-2019-19-4-32-44*
- Parada, F. (2020). Aplicación de metodología Value Stream Mapping para identificar cuellos de botella por escenarios en minera Los Pelambres. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil Industrial. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 9-10.*
- Pardo, M. (2016). Mejores prácticas Lean en un proyecto de minería subterránea: caso aplicado proyecto nuevo nivel mina. Tesis de Licenciatura en Ingeniería civil industrial. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 9-11.*
- Pavel, A., y Sârbu, R. (2014). Integrating Six Sigma with Quality Management Systems for the Development and Continuous Improvement of Higher Education Institutions. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 143(1), 643-648. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.07.456.*
- Pérez, E., y Molano, N. (2020). Elaboración de un Modelo de Planificación Estratégica Comercial en la empresa PROESEMICA CIA. LTDA. Tesis de Magister en Administración estratégica de empresas. Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Perú, 9-10.*
- Perez, L., Perez, J., García, L., y Gómez, P. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. Mundo Fesc, 10(19), 55-66. Recuperado de: [https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundo\\_fesc/article/view/508](https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundo_fesc/article/view/508)*

- Peris, M., y Alvarez, J. (2014). *Action-based quality management: strategy and tools for continuous improvement*. Springer, Heidelberg
- Pesce, A., Molina, E., Morgado, R., Contreras, F., Sepúlveda, A., León, M., Velázquez, L., y Martínez, F. (2019). *Caracterización de proveedores de la minería chilena*. Santiago: Fundación Chile, 20-21.
- Prado, L., y Orobio, A. (2019). *Grado de madurez en gestión de proyectos de una empresa constructora de vivienda: Un análisis en Colombia*, *Revista Espacios*, 40(43), 20. Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n43/a19v40n43p20.pdf>
- Ramírez, A., y Pumisacho, V. (2017). *Prácticas de mejora continua, con enfoque Kaizen, en empresas del Distrito Metropolitano de Quito: Un estudio exploratorio*, *Intangible Capital*, 13(2), 493-494. doi: 10.3926/ic.901
- Ries, E. (2013). *El método Lean Startup: Cómo crear empresas de éxito utilizando la innovación*. Barcelona, España: Deusto.
- Riffo, J. (2019). *Mejoramiento del proceso de licitación en la gerencia de obras mina de la división El Teniente, CODELCO*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil en Minas. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 111-112.
- Rodriguez, J., y Vega, A. (2015). *Evolución, administración e impacto fiscal de los ingresos del cobre en Chile*. Santiago: Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda, 9-11.
- Saenz, A., Ostos, J., Bremser, K., y Lizarzaburu, E., (2019). *Estudio exploratorio en gestión de proyectos*, *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 17(1), 91-111. doi: 10.36561/ING.17.5
- Salas, A. (2016). *Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Andres Bello, Santiago, Chile, 71-80.

- Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. México DF: McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V, 126-141.*
- Segura, A., Carrillo, F., Santa María, J., y Gamboa, L., (2020). Planeamiento estratégico para Minera Las Bambas S.A. Tesis de Magister en Administración estratégica de empresas. Universidad Católica del Perú, Surco, Perú, 1-13.*
- Starns, V. (2019). Exploring the strategies project managers need to establish a project charter for initiating a project Tesis de Doctorado en administration de empresas. Colorado Technical University, Colorado, Estados Unidos, 3-20.*
- Sturla, G. (2018). PIB minero en Chile: inversión, estructura productiva y proyecciones. doi: 10.13140/RG.2.2.36149.99041.*
- Suarez, M., y Rodriguez, F. (2018). Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them? A first research approach. International Journal of Quality and Service Sciences, 11(2), 302-316. doi: 10.1108/IJQSS-12-2017-0113*
- Terlato, A. (2019). Estrategia y decisiones en ambientes VICA: Implicancias de este entorno para las empresas. Econstor Make Your Publications Visible, Working Paper No. 699.*
- Tsarouhas, P. (2020). Reliability, availability and maintainability analysis of a bag production industry based on the six sigma DMAIC approach. The TQM Journal, 36(3), 1-5. doi: 10.1108/IJQRM-10-2017-0215*
- Uluskan, M., y Oda, E. (2019). A thorough Six Sigma DMAIC application for household appliance manufacturing systems. The TQM Journal, 32(6), 1-4. doi:10.1108/TQM-06-2019-0171*
- Urrutia, A., Contreras, J., Aravena, J., Miranda, Rodrigo., Chauveaus, P., Villalobos, F., y Farias, J. (2017). Productividad en la Gran Minería del Cobre. Santiago: Comisión Nacional de la Productividad, 15-32.*

- Vega, J. (2019). *Incremento de la productividad en el tonelaje movido mediante la aplicación de la mejora de métodos en una empresa minera. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 10-37.*
- Vilcarromero, R. (2017). *La Gestión de la producción. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú.*
- Villarroel, C. (2015). *Aplicación de Lean Managament en una mina de rajo abierto - División El Teniente - Codelco Chile. Tesis de Magister en gestión y dirección de empresas. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 6-7.*
- Villón, S. (2020). *Strategic planning for Spanish energy companies that adopt IFRS as accounting financial regulations. Innova Sciences Business, 1(2), 61-67. Recuperado de: <http://innovasciencesbusiness.org/index.php/ISB/article/view/13/21>*
- Vitor, D. (2016). *Implementación de un modelo de gestión por indicadores para mejorar el proceso de órdenes de servicio en el área de mantenimiento de grupos electrógenos, utilizando la herramienta del benchmarking. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, 30-33.*
- Zaldumbide, O. (2019). *Propuesta metodológica para elaborar un proyecto de mejora de procesos en Ecuador. Revista Ciencia de Seguridad y Defensa, 4(6), 59-70. Recuperado de: <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/03/6art7.pdf>*

## 6 ANEXOS

Anexo 1: Ubicación geo referencial Planta AC, Región de Atacams.  
Fuente: Elaboración propia



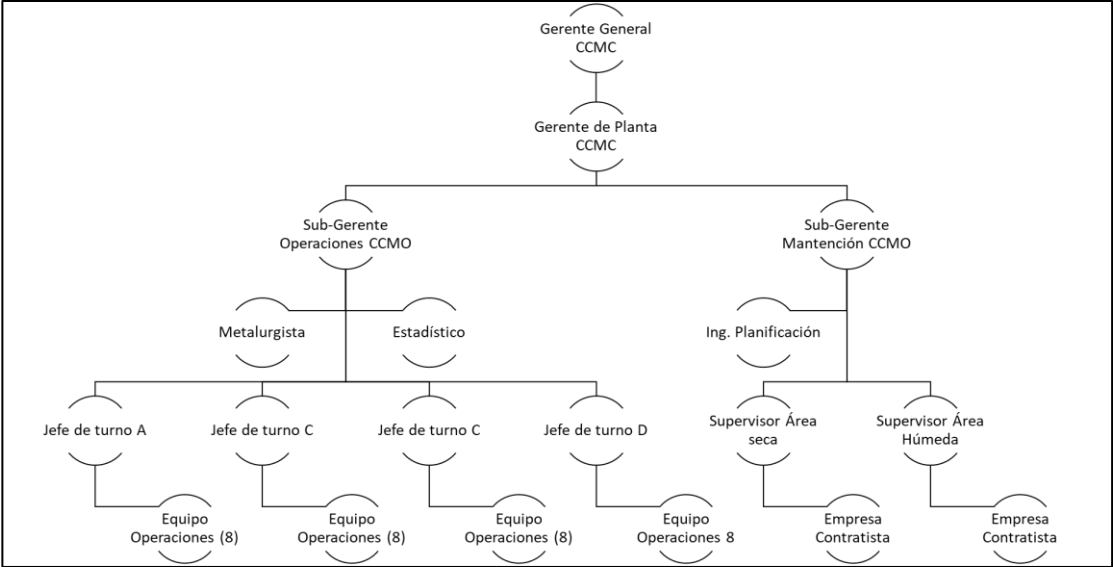
Anexo 2: Ubicación geo referencial Planta PAC de Tierra Amarilla y CCMC.  
Fuente: Elaboración propia



Anexo 3: Ubicación geo referencial Planta desalinizadora en Puerto Padrones, Caldera.  
Fuente: Elaboración propia



Anexo 4: Organigrama Operacional Planta PAC.  
Fuente: Elaboración propia



Anexo 5: Evaluación económica cambio motor Molino 2.  
Fuente: Elaboración propia

**Freeport-McMoRan Copper & Gold**  
**FINANCIAL EVALUATION - FORM CE-1**  
**(in thousands of U.S. Dollars)**

Unit Lundin Mining  
Project Title Adquisición motor mill.  
Location Plant "Pedro Aguirre Cerda" Minera Ops del Salado  
AFE Number \_\_\_\_\_ Date 3/1/2017  
Budget Reference Number(s) \_\_\_\_\_

Evaluation Parameters  
Tax Rate Applied Standard 37%  
MIRR Reinvestment Rate 12%  
MIRR Finance Rate 10%  
Project Life 15 years Detail  
Analysis Starting Year 2017 (Year One - Indicates the initial year discounting begins)

Incremental Analysis Results  
Net Present Value  
Base Rate of 8% 5,868  
@ 10% 5,500  
@ 12% 5,165

[Data Entry Guide](#)  Calculate MIRR (Optional)

If This Investment is Made (Proposed Case)	0 Initial*	1 2017	2 2018	3 2019	4 2020	5 2021	6 2022	7 2023	8 2024	9 2025	10 2026	11 2027	12 2028	TOTAL
1. Revenue/Savings	0	165,930	181,966	203,740	218,823	203,678	159,112	38,136						1,171,385
2. Operating Costs	0	(86,943)	(90,095)	(92,256)	(99,030)	(86,599)	(78,243)	(14,429)						(547,596)
3. Selling and General Admin	0	0	0	0	0	0	0	0						0
4. Depreciation - Book	0	(1,875)	(2,730)	(6,347)	(10,400)	(10,350)	(8,621)	(6,252)	(161)					(46,736)
5. Earnings Before Taxes	0	35,793	50,580	64,430	69,974	68,575	48,265	22,244	(182)					359,680
6. Income Taxes	0	(14,463)	(21,041)	(26,803)	(29,109)	(28,527)	(19,980)	(9,078)	91					(148,912)
7. Net Earnings	0	50,257	71,621	91,233	99,084	97,102	68,245	31,322	(272)					508,592
8. Deferred Taxes	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
9. Working Capital Change - Source/(Use)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
10. Operating Cash Flow	0	21,330	29,539	37,627	40,865	40,048	28,285	13,166	(91)					210,768
11. Fixed Capital Investment (Expenditure)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
12. Salvage/Opportunity Cost-Credit/(Cost)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
13. Total Investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
14. Total Cumulative Investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
15. Accumulated Book Depreciation	0	1,875	2,730	6,347	10,400	10,350	8,621	6,252	161					
16. Total Net Investment	0	(7,165)	(6,721)	(11,561)	(1,075)	0	(1,135)	0	0					0
17. Average Net Investment	0	(3,582)	(6,943)	(9,141)	(6,318)	(537)	(568)	(568)	0					0
18. Net Cash Flow	0	19,611	32,469	41,585	59,615	60,256	45,561	24,538	2,055					285,689

If This Investment is Not Made (As Is Case)	0 Initial*	1 2017	2 2018	3 2019	4 2020	5 2021	6 2022	7 2023	8 2024	9 2025	10 2026	11 2027	12 2028	TOTAL
1. Revenue/Savings	0	164,057	179,968	201,448	216,435	201,341	156,926	38,136						1,158,313
2. Operating Costs	0	(86,943)	(90,095)	(92,256)	(99,030)	(86,599)	(77,910)	(14,429)						(547,263)
3. Selling and General Admin	0	0	0	0	0	0	0	0						0
4. Depreciation - Book	0	(1,867)	(2,714)	(6,331)	(10,386)	(10,331)	(8,590)	(6,253)	(31)					(46,503)
5. Earnings Before Taxes	0	34,225	48,892	62,456	67,924	66,608	46,776	22,229	(52)					349,060
6. Income Taxes	0	(13,830)	(20,339)	(25,982)	(28,256)	(27,709)	(19,358)	(9,075)	36					(144,512)
7. Net Earnings	0	48,055	69,231	88,438	96,180	94,317	66,134	31,304	(88)					493,572
8. Deferred Taxes	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
9. Working Capital Change - Source/(Use)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
10. Operating Cash Flow	0	20,395	28,553	36,475	39,667	38,899	27,419	13,154	(15)					204,547
11. Fixed Capital Investment (Expenditure)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
12. Salvage/Opportunity Cost-Credit/(Cost)	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
13. Total Investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
14. Total Cumulative Investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
15. Accumulated Book Depreciation	0	1,867	2,714	6,331	10,386	10,331	8,590	6,253	31					
16. Total Net Investment	0	(6,935)	(6,721)	(11,561)	(1,075)	0	(1,135)	0	0					0
17. Average Net Investment	0	(3,467)	(6,828)	(9,141)	(6,318)	(537)	(568)	(568)	0					0
18. Net Cash Flow	0	18,860	31,213	40,135	58,106	58,802	44,399	24,341	2,055					277,911

Incremental Analysis (Base Case)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
Incremental Operating Cash Flow	0	935	986	1,153	1,198	1,148	866	11	(76)	0	0	0	0	6,221
Incremental Cumulative Investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incremental Average Net Investment	0	(115)	(115)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incremental Net Cash Flow	0	751	1,256	1,450	1,508	1,454	1,162	197	(0)	0	0	0	0	7,778
Cash Flow ROI		812.9%	857.3%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--