

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**DISEÑO DE PROPUESTA PARA UN SISTEMA CON ENFOQUE DMAIC DE SIX
SIGMA PARA PLANTA DE LITIO, ANTOFAGASTA CHILE. (II REGIÓN)**

Trabajo de proyecto de título para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno:

Jesús Matías Ignacio Barrera Reyes

Profesor Guía: Marcelo Enrique Quiroz Neira



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: DISEÑO DE PROPUESTA PARA UN SISTEMA CON ENFOQUE DMAIC DE SIX SIGMA PARA PLANTA DE LITIO, ANTOFAGASTA CHILE. (II Región)

Nombre del candidato(a): Jesús Matías Ignacio Barzera Reyes.

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Concepcion; Departamento: MECÁNICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Marcelo Enrique Quiroz Neira
Yo, _____, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: _____; Firma: Marcelo Quiroz N.

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30-06-25; Firma: _____

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

*Le dedico este logro
Especialmente a mi madre y padre,
A mis hermanos y hermana
A mi familia
Y a todo aquel que alguna vez fue y ha sido parte de este hermoso proceso.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a don Marcelo Quiroz, quien ha demostrado ser un gran aporte y dar las herramientas que se necesitan para lograr los objetivos impuestos.

Quiero agradecer siempre a mi familia, a usted madre Francesca Reyes, a usted padre Luis Barrera, a ustedes mis hermanos Jean y Adriano Barrera, a ti princesa del hogar Danya Barrera. Gracias por ser siempre mis pilares cuando sentía que no podía más, gracias por confiar en mí, sin duda no tocaré nunca fondo si ustedes están a mi lado, qué más puedo pedir, si con ustedes ya lo tengo todo.

Cecilia, Armando, Natalia, Joaquín, Daniel, Giuliana, Patrik, Gael, Pascal. Gracias por cada una de sus palabras, cada bendición, cada risa y llanto en los que siempre han estado, formando parte de mi siempre, mi logro también es el suyo.

Familia Reyes, ustedes si que son muchos, creo que estaría escribiendo la mitad del título uno por uno, pero destacar a mis abuelos Alberto y Sandra, a mis tíos Cristian, Juan, Miguel, Hugo, Oscar a mis tías Andrea, Ingrid, Valeria, Catalina, Lois y a todos mis primos. Siempre me alentaron antes de entrar, cuando más tenía miedo, ahora les digo que tenían razón, muchas gracias.

Mención especial a todas las personas que conocí en este hermoso camino, Ángela López, Antonia González y Dante Salazar, gracias por enseñarme lo lindo que es tener amigos en esta vida

Y finalmente a mi Dios, quién siempre está cuidándome, espero estés cuidando a los que alguna vez partieron, les mando un fuerte abrazo.

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad el reducir los cuellos de botella y elevar la optimización que afectan en un sector de la planta de litio de SQM en Antofagasta, segunda región de Chile. Estos problemas son debido a la alta demanda que ha recibido en el último tiempo el Salar del Carmen, principal extractor del denominado oro blanco.

El componente que limita esta parte del proceso se llama silo, el objetivo se va a realizar con una incorporación en la salida del equipo antes mencionado, con la finalidad de poder garantizar un óptimo rendimiento basado en la metodología DMAIC de Six Sigma, sumado a una aplicación y gestión de mantenimiento.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE ANEXOS.....	11
SIGLA Y SIMBOLOGÍA.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GENERAL:.....	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	18
1.2.1 OPERACIÓN	18
1.2.2 EQUIPOS.....	18
1.2.3 PERSONAL	19
1.2.4 MANTENIMIENTO	19
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2. LITIO	24
3. EFICIENCIA Y PRODUCCIÓN	25
3.1 TASA DE PRODUCCIÓN	25
3.2 PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA	25
3.3 EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN,	25
4. SILO INDUSTRIAL	26
4.1 CLASIFICACIÓN DE SILOS INDUSTRIALES.....	26
5. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SILO	27
6. ENFOQUE DMAIC.....	28
7. INDICADORES	29
7.1 ¿CÓMO ESTABLECER INDICADORES?	29

8. MANTENIMIENTO	30
9. TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	30
9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO:	30
9.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO:	30
9.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO:	30
9.4 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO:.....	30
9.5 MANTENIMIENTO PROACTIVO:.....	31
10. TRAMPAS MÁGNETICAS:	32
11. VÁLVULAS DE CUCHILLO K1:	32
12. VÁLVULA ROTATORIA	32
13. MATERIAL INOXIDABLE	32
CAPÍTULO III: DISEÑO Y SOLUCIÓN.....	34
11. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA.....	35
12. DMAIC	36
12.1 DEFINIR	36
12.2 MEDIR.....	37
12.3 ANALIZAR.....	38
12.4 MEJORAR	38
12.5 CONTROLAR	40
12.5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	40
12.5.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	40
13. CALENDARIO DE MANTENIMIENTO	40
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.....	42
14. ADQUISICIÓN DE MATERIALES	43
15. RR.HH	43
16. GASTOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO	45
17. FLUJO DE CAJA	45
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
18. CONCLUSIÓN.....	50
19. RECOMENDACIONES	50
20. ANEXOS.....	51
PAGEREF _Toc183799916 \h 21. BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2: Gráfico alza de litio. Fuente: Statistas	17
Figura 3: Diagrama de Ishikawa silo. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 4: Análisis FODA. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 5: Utilidad del litio. Fuente: Inteligencia Artificial.	24
Figura 6: Fórmula tasa de producción. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 7: Fórmula de productividad mano de obra. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 8: Fórmula eficiencia de producción. Fuente: Elaboración Propia.....	25
Figura 9: Partes de un silo industrial. Fuente: INESA.	27
Figura 10: Paso a paso DMAIC. Fuente: LinkedIn.....	28
Figura 11: KPI. Fuente: MARKETEROS AGENCIA.	29
Figura 12: Silo 5. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 13: P&ID Del proceso actual. Fuente: Elemento confidencial SQM.	36
Figura 14: Referencia silo con una salida. Fuente: Bibliocad.	37
Figura 15: Funcionamiento chute pantalón. Fuente: Optimización de la variabilidad. Ian Sturze Alarcón.	38
Figura 16: Prototipo final 3D. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 17: P&ID Final de prototipo. Fuente: Elaboración propia.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad de distribución total. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 2: Tasa de producción diaria. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 3: Velocidad de distribución con doble salida. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 4: Tasa de producción estimada con doble salida. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 5: Calendario de mantenimiento preventivo - predictivo. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 6: Gastos adquisición de materiales. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 7: Precios Recursos Humanos. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 8: Recurso humano de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 9: Adquisición de materiales mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 10: Flujo de caja silo actual. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 11: Flujo de caja proyectado. Fuente: Elaboración propia.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Ilustración 1: Tabla de precios SQM. Fuente: SQM.	51
Ilustración 2: P&ID SQM. Fuente: SQM.	51

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

- KPI: Key Performance Indicator.
- S: Segundos
- Kg: Kilogramo
- Ton: Tonelada
- H: Horas
- P&ID: Piping and Instrumentation Diagram
- M: Metros
- CPM: Ciclos por minuto
- ″: Pulgadas
- AISI: American Iron and Steel Institute
- 316L: Acero inoxidable austenítico
- Pn: Presión nominal
- Hz: Hertz o hercios
- Khz: Kilohercio
- Mm: Milímetro
- °C: Grados Celsius
- %: Porcentaje
- VAN: Valor Actual Neto

INTRODUCCIÓN

Para la industria actualmente la optimización de los procesos es algo fundamental e irrefutable, sobre todo si es en la parte de almacenamiento y distribución final. Con lo anterior podemos garantizar un producto de calidad, disminuimos tiempos muertos y se puede satisfacer la demanda de todos los clientes de manera eficiente. Por lo tanto, identificar los puntos clave y desperfectos que pueda haber en este punto es de crucial importancia para aplicar una mejora continua en todo aspecto.

Ya una vez se haya profundizado e investigado el desperfecto, es necesario que realicemos una lluvia de ideas para establecer los objetivos o metas que nos ayuden a llegar a una solución viable. Entonces, el implementar una metodología basada en los principios de Six Sigma nos ayuda a resolver las metas con calidad y eficiencia.

Por lo mismo se han establecido objetivos que nos guiarán en este nuevo proceso, consta de un objetivo general, el cual plantea el problema en sí y cómo lo solucionaremos y de 4 objetivos específicos que son las bases y guías hacia la solución que buscamos.

Una vez se haya tratado los objetivos de manera clara y responsable, se espera no solo resolver los desperfectos identificados, si no también mejorar la calidad del producto, aumentar la eficiencia del proceso y en última instancia, aumentar la satisfacción del cliente.

“Alcanzar la rentabilidad mientras se navega en este entorno desafiante es un objetivo que exige estrategias inteligentes y una ejecución impecable. Encontrar el equilibrio entre rentabilidad y satisfacción del cliente parece un acertijo imposible de resolver.”

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

"Diseñar un sistema de mejora continua, basado en la metodología DMAIC de Six Sigma para optimizar el proceso de inyección y distribución del producto. Paralelamente, desarrollar un plan de mantenimiento integral para los silos, que permita minimizar tiempos de inactividad y prolongar su vida útil."

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1- Diagnosticar y analizar la problemática actual del proceso con herramientas de gestión.
- 2- Medir indicadores de eficiencia (KPI'S) establecidos previamente para monitorear y evaluar el rendimiento del proceso
- 3- Propuesta de diseño final para mejoras detectadas en el análisis de causa raíz y llevar un control en los avances implementados para saber su efectividad en la instalación.
- 4- Evaluación económica de nuestro proyecto para poder verificar su impacto en la rentabilidad de este.

**CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El litio ha adquirido una importancia alta en el contexto mundial, influenciado por dos factores principales:

1. La revolución de las baterías iones de litio está impulsada por el litio, un componente clave que se ha convertido en la base de la electrónica actual. Estas baterías, que van desde dispositivos personales como teléfonos y computadoras hasta tecnologías avanzadas que incluyen vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía renovable, han revolucionado industrias completas. El litio juega un factor muy importante en el cambio hacia una energía más limpia y la electrificación de varias industrias.
2. Aplicaciones médicas: Además de su importancia en la industria, el litio juega un papel clave en la medicina como un calmante para el estado de ánimo como es el tratamiento del trastorno bipolar y otros trastornos de salud mental. Su capacidad para tratar estas enfermedades es ampliamente reconocida, lo que consolida su importancia en el campo médico.

El crecimiento de la demanda de litio ha provocado un aumento notable de la producción en la Planta de Litio del Salar del Carmen en Antofagasta. Sin embargo, esta rápida expansión ha dejado al descubierto varios problemas operativos, específicamente retrasos en las fases de fabricación y empaquetado del producto final.

Luego de un análisis detallado de las operaciones, se determinó que un equipo era el principal obstáculo para satisfacer la creciente demanda de litio y su distribución en grandes bolsas. Este SILO no podía seguir el ritmo de la producción, lo que generaba demoras y acumulación de material en la planta, lo que generaba congestiones que perjudicaban la eficiencia del proceso.

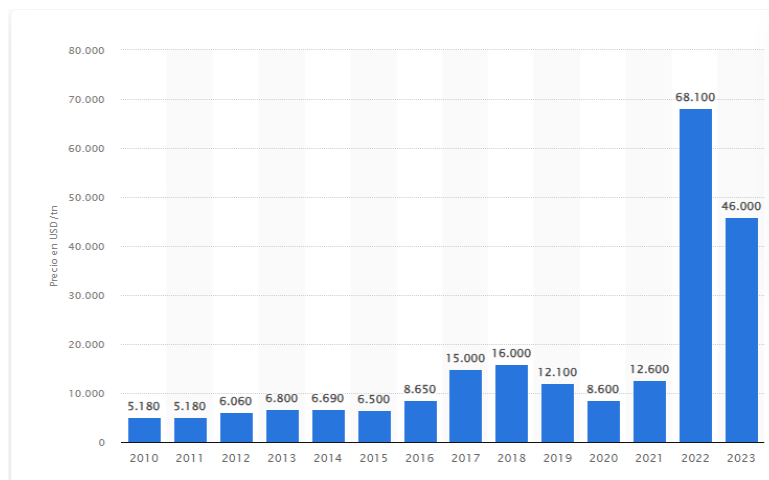


Figura 1: Gráfico alza de litio.
Fuente: Statista

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para comenzar la justificación del proyecto, se ha basado en la identificación de importantes pérdidas de tiempo en los procesos de inyección y distribución del producto terminado. Esta ineficiencia resulta, en resumen, en una considerable pérdida económica para la empresa SQM.

El siguiente diagrama de Ishikawa busca identificar y solucionar problemas de ineficiencia en silos industriales. Nuestro objetivo es optimizar procesos, reducir costos, aumentar la productividad y mejorar la calidad del litio. Además, buscamos implementar un mantenimiento efectivo y capacitar adecuadamente al personal. Un indicador clave de éxito será la mejora en la toma de decisiones y el aumento de la competitividad de la empresa en el mercado.

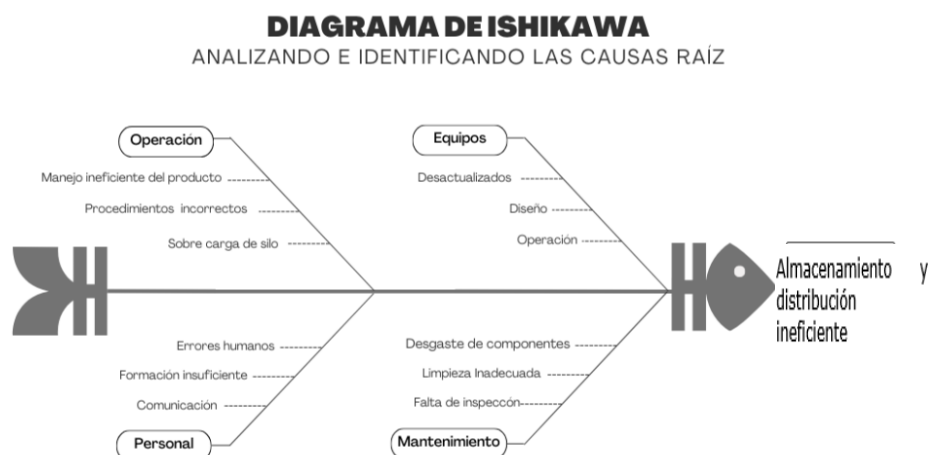


Figura 2: Diagrama de Ishikawa silo.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.1 OPERACIÓN

- Como sector de operaciones las brechas que hay entre tener un óptimo rendimiento y el manejo inadecuado del equipo son muy cortas, esto no es favorable para el poder cumplir con el objetivo principal del proyecto. La mala gestión del flujo puede generar los atascos y bloqueos dentro de nuestro proceso, volviéndolo lento y poco productivo.

1.2.2 EQUIPOS

- Como problema principal en el equipo tenemos el diseño estructural del silo, que afecta directamente en la capacidad y eficiencia de este. El diseño actual no permite optimizar de la mejor manera el almacenamiento, por lo que, provoca congestiones en el flujo normal del producto final, ya que el diseño del silo no se adapta a las capacidades de inyección que requieren las operaciones y dificulta la posterior distribución del litio para su envasado en maxi sacos.

1.2.3 PERSONAL

- Ante una formación insuficiente, problemas de comunicación y errores humanos obtendremos muchos factores que van en contra de nuestro objetivo principal. La falta de una formación adecuada puede provocar un rendimiento deficiente y errores frecuentes. Los problemas de comunicación provocan falta de coordinación y malentendidos.

1.2.4 MANTENIMIENTO

- En la sección de mantenimiento se encuentra como potencial problemática la falta de inspecciones ya sea correctiva, preventiva o predictiva, aquello afecta en piezas desgastadas, componentes en mal estado. La ausencia de un mantenimiento nos lleva a fallas y/o detenciones de componentes mecánicos que si no se reemplazan pueden causar una serie de fallos y averías, mientras que la falta de limpieza afecta de forma indirecta y directa al flujo del material.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La descripción de este proyecto es sencilla en varios aspectos, consiste en aplicar un modelo de gestión proveniente de Six-Sigma: El enfoque DMAIC (DEFINIR-MEDIR-ANALIZAR-MEJORAR-CONTROLAR) en un proceso de producción y envasado de litio, para realizar una reducción de cuellos de botella al momento de tener una alta demanda del llamado "Oro blanco". Además, generar mejoras en el equipo identificado para poder lograr una mayor optimización en el área de envasado, aumentando las salidas del equipo (Silo) en primer lugar.

Por otra parte, se buscará una base de datos sobre las descargas diarias, por hora, minuto y segundos, con el propósito de establecer indicadores claves (KPI'S) durante el proceso de análisis con la finalidad de obtener resultados óptimos en cada proceso a ejecutar. Además, se diseñará un plan de mantenimiento preventivo - predictivo para el silo mencionado, ya que actualmente la empresa solo cuenta con un plan de mantenimiento correctivo. Esto resulta en una disminución considerable de vida útil del equipo, que, cuando este entra en falla hace un proceso deficiente, dando lugar a pérdidas de tiempo.

1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO

Los principales beneficios del proyecto son la reducción de posibles fallas imprevistas en los equipos, procesos de inyección y distribución. Además, el proyecto proporciona beneficios sociales al crear nuevos puestos de trabajo y oportunidades de empleo. Asimismo, se espera un incremento en los ingresos internos gracias a una mayor eficiencia en el proceso de descarga de litio en los maxi-sacos.

Para poder llegar a esta conclusión nos hemos basado en una técnica de gestión que ayuda a identificar los aspectos positivos, negativos, oportunidades y amenazas del proyecto a ejecutar y verificar si el plan estratégico es beneficioso para la empresa, análisis FODA.

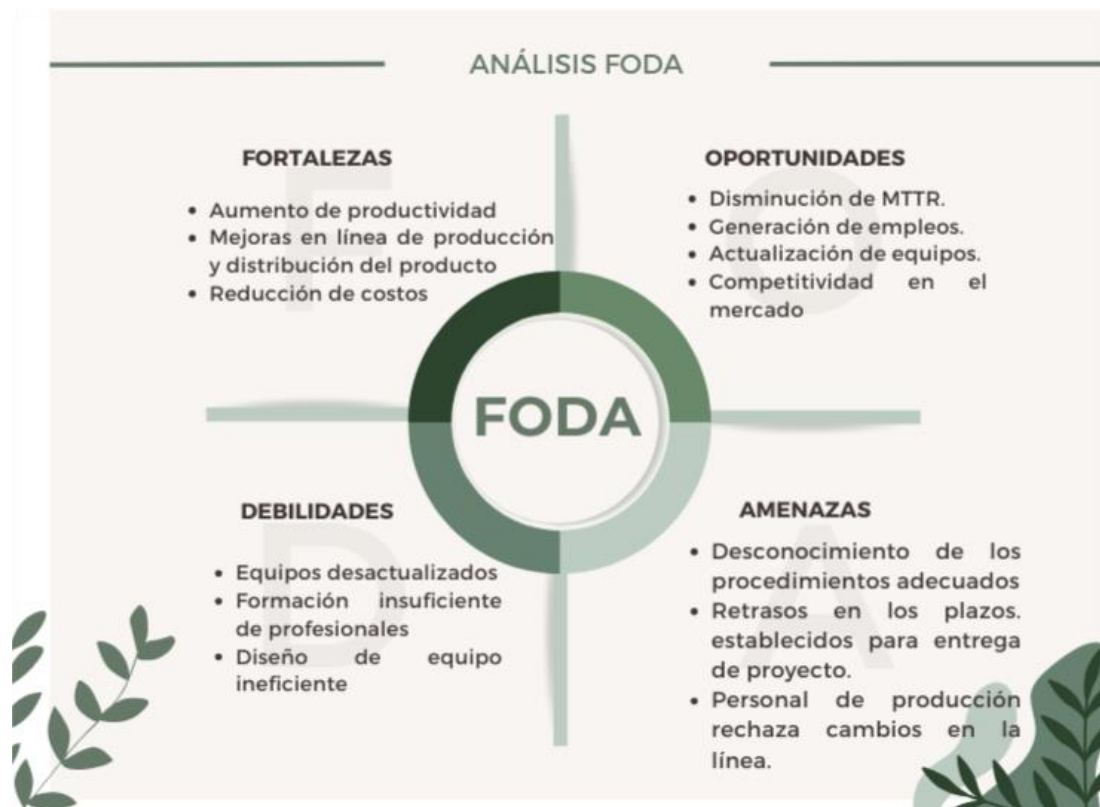


Figura 3: Análisis FODA.
Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO**

2. LITIO

El litio en Chile, componente explotado en la década de los 60's donde su fuente principal se ubica en la segunda región, Antofagasta, precisamente en el Salar del Carmen. En 1979 se decretó la ley 2886 que indica que el litio queda reservado para el estado chileno. En dicha época el mineral fue codiciado por su función en la fusión nuclear para la generación de energía. En el año 2015 se creó la Comisión Nacional del Litio, todo esto en vista al futuro de la energía y electromovilidad, así la creación de nuevas políticas que protejan de entidades públicas y privadas.

Hoy en día el litio es fundamental por los diversos usos que le ha dado la población actual, tanto como tratamientos o importantes avances tecnológicos como baterías recargables, producción de vidrios y cerámicas, purificación de aire en submarinos, etc.

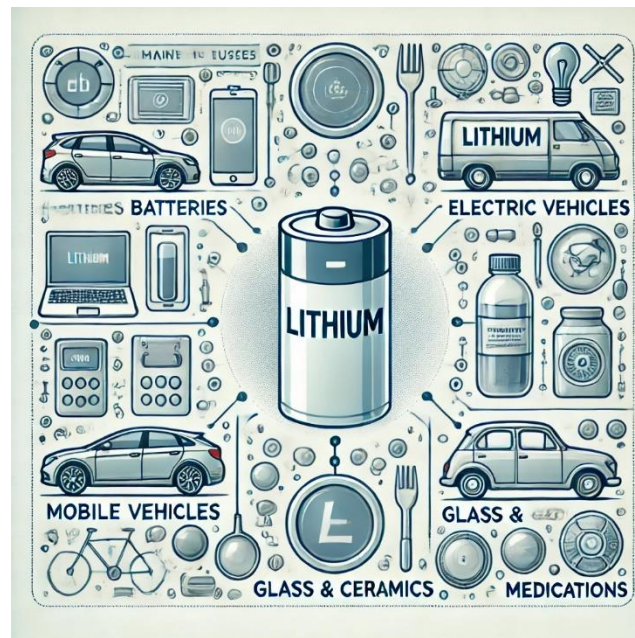


Figura 4: Utilidad del litio.
Fuente: Inteligencia Artificial.

3. EFICIENCIA Y PRODUCCIÓN

3.1 TASA DE PRODUCCIÓN, nos presenta una medida de la cantidad de un cierto producto o servicio en un lapso determinado. Estos datos dependen de muchos factores que se pueden aplicar, como lo es la velocidad de descarga, capacidad o toneladas que acepta el silo, como así la frecuencia o el tiempo de reposición del material hacia el equipo que se desea medir. Para poder lograr un aumento en la tasa de producción es necesario una optimización y modificación del proceso.

$$\text{Tasa de producción} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo de producción}}$$

*Figura 5: Fórmula tasa de producción.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2 PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA esto nos permite calcular la cantidad de producto que se ha generado en base al tiempo o cantidad de colaboradores dentro de este proceso, al mejorar estos números se obtiene por consecuencia reducir los tiempos de espera y maximiza la eficiencia de los trabajadores.

$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Número de trabajadores o horas de trabajo}}$$

*Figura 6: Fórmula de productividad mano de obra.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3 EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN, la medición de la etapa mencionada nos ayuda a ver que tan bien se han utilizado los recursos destinados para producir un producto determinado. Enfocado al silo, la eficiencia puede estar afectada por el diseño de la descarga, la cantidad de producto que puede almacenar o la sincronización con las etapas anteriores o las posteriores. Minimizar la pérdida, aumentar la eficiencia en base a las unidades producidas entre las unidades esperadas.

$$\text{Eficiencia de producción} = \left(\frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Unidades esperadas}} \right) \times 100$$

*Figura 7: Fórmula eficiencia de producción.
Fuente: Elaboración Propia.*

4. SILO INDUSTRIAL

Los silos industriales están diseñados de una amplia variedad de materiales, su objetivo principal es el almacenamiento y distribución de diferentes productos o componentes, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, dependiendo de las necesidades ya adaptaciones de la empresa o industria. El silo ofrece durabilidad y resistencia, incorpora sistemas automatizados para regular el flujo de contenidos, optimiza los espacios y una buena gestión de los recursos. Además, facilita la logística y cadena de suministro, contribuyendo a una producción más fluida, esto lo transforma en un equipo clave.

4.1 CLASIFICACIÓN DE SILOS INDUSTRIALES

A continuación, se presentarán diferentes tipos de silos y el uso aplicado en algunas áreas:

1. Silos metálicos: Construidos normalmente con acero galvanizado o acero inoxidable. Son ideales para productos que requieren altos niveles de higiene, como alimentos procesados, productos farmacéuticos, o químicos sensibles.
2. Silos de concreto reforzado: Para almacenar cemento a granel y otros materiales granulares. Se utilizan para almacenar altos volúmenes de materiales pesados, como cemento, caliza, carbón y otros minerales.
3. Silos de bolsa: Es un tipo de contenedor de tela, cuya capacidad depende de la cantidad deseada al almacenar. Se utilizan principalmente en el sector agrícola para el almacenamiento temporal de granos
4. Silos de fibra de vidrio: Fabricados con fibra de vidrio reforzada principalmente para almacenamiento de productos corrosivos y en algunos sectores agrícolas.
5. Silos de madera: Su frecuencia es limitada, debido a, su vulnerabilidad a la humedad e insectos como las termitas. Aunque su uso ha disminuido, aún se encuentran en algunas zonas rurales y agrícolas para almacenar productos como cereales, piensos y aserrín.

5. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SILO



Figura 8: Partes de un silo industrial.
Fuente: INESA.

1. Barandilla o pasa manos: estructura utilizada en pasillos o plataformas elevadas para proporcionar soporte y seguridad al trabajador o usuario al caminar cerca de los bordes elevados.
2. Válvula de sobre presión o depresión: Equipo diseñado para abrirse de manera automática cuando la presión dentro del equipo alcanza un nivel fuera de los estándares establecidos. Función principal es aliviar la presión excesiva y prevenir daños.
3. Filtros de manga: Dispositivo utilizado principalmente para captar las partículas finas de polvo durante el proceso de inyección del material. Ayuda a mantener el producto lo más puro posible y cumplir con normas ambientales
4. Nivel de paletas rotativas: Mide los niveles dentro de un silo. Los componentes del equipo giran según el nivel del material y envían indicadores de niveles máximos y mínimos del llenado del silo.
5. Barandilla de protección: Facilita la manipulación y/o modificación de elementos.
6. Tubos de carga: Cañerías para transferir el material al interior del silo. Facilitan el llenado controlado y eficiente del material.
7. Rompe bóvedas dosificador: Dispositivo diseñado para romper y dosificar el material almacenado. Su función principal es asegurar el flujo controlado y preciso del material a la siguiente etapa.
8. Células de pesaje: Dispositivos electrónicos que son ubicados debajo de nuestro equipo para medir el peso de la cantidad de producto almacenado. Monitorea la cantidad en tiempo real y así poder realizar una gestión eficiente de inventario.

6. ENFOQUE DMAIC

El enfoque DMAIC es muy conocido dentro de la metodología de six-sigma, gracias a su amplio campo y visión dentro de las organizaciones es destacada por sus logros y efectividad. Permite lograr objetivos de una manera clara y bien estructurada en base a sus pasos marcados a continuación:

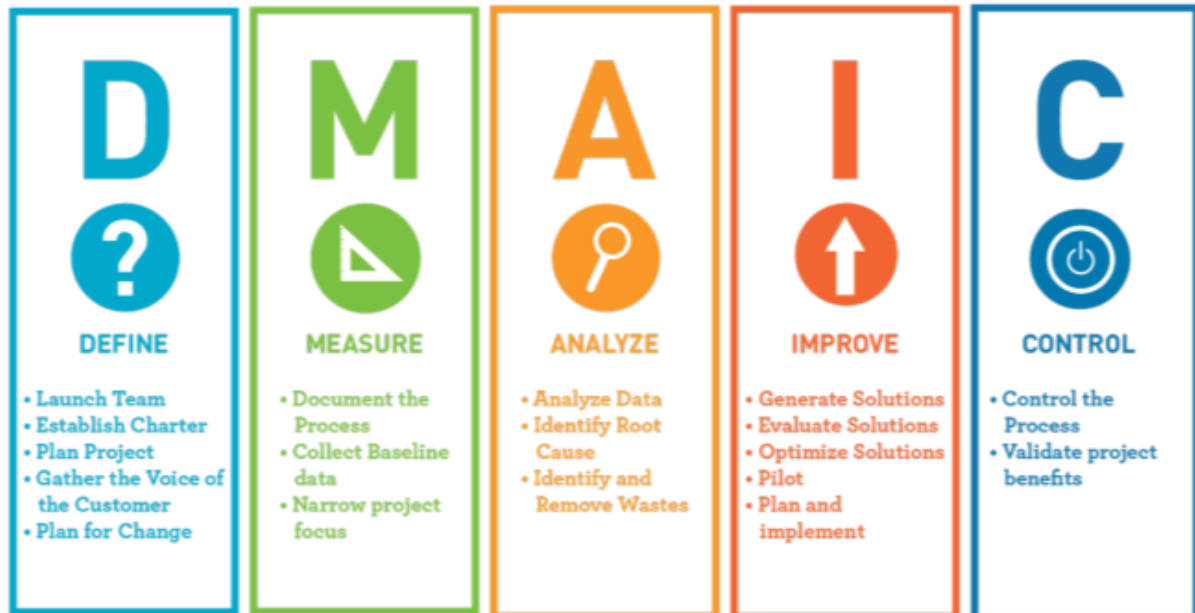


Figura 9: Paso a paso DMAIC.
Fuente: LinkedIn

DMAIC emplea un enfoque muy bien estructurado gracias a su orientación de mejora continua y también su gran adaptación a diferentes cambios que puedan sufrir sus objetivos principales.

1. Definir: ¿Qué busca lograr la empresa? Es una pregunta que se debe realizar en esta etapa, donde es necesario obtener una lluvia de ideas para facilitar y encontrar las metas hacia donde vamos a emplear esta metodología, incluyendo KPI'S.
2. Medir: Como segundo paso es de vital importancia recopilar la máxima cantidad de datos que se pueda de nuestra empresa, cronometrado, tasa de producción, pérdidas, entre otras. Todo con la finalidad de poder realizar una comparación y ver si realmente estamos yendo por buen camino.
3. Analizar: Utilizamos herramientas de gestión que nos permitan analizar de manera profunda qué nos está llevando a estar de esta forma (Ishikawa, Foda, etc).
4. Mejorar: Comenzamos las modificaciones para poder afrontar los problemas que se establecieron en los pasos anteriores, creando nuevas ventanas de mejora.
5. Controlar: Controlar el proceso posterior a las 4 etapas es de vital importancia, ya que siempre se puede emplear la mejora continua.

7. INDICADORES

Los indicadores o KPI (key performance indicator) es un indicador de como los equipos o empresas de cualquier establecimiento logran progresar hacia sus objetivos impartidos en un principio. Para fomentar estos objetivos, los KPI deben establecerse eficaz y mediblemente para saber si vas por un buen camino hacia tus metas especificadas anteriormente. Un buen KPI nos permite:

- Lograr objetivos estratégicos.
- Información sobre la planificación de recursos.
- Realizar un seguimiento de lo que se puede controlar.
- Ayuda al equipo a mantener ideas claras de los proyectos y sus contribuciones a los objetivos empresariales.
- Medir el desempeño, permite observar el desempeño sobre el progreso hacia los logros
- Identificación de los problemas u oportunidades del área para mejorar la eficiencia y efectividad.
- Toma de decisiones basada en datos, esta información nos facilita la determinación de estrategias y operaciones.
- Monitoreo continuo para identificar la tendencia y los patrones que pueden afectar a nuestras estrategias.

7.1 ¿CÓMO ESTABLECER INDICADORES?

Para poder establecer un buen KPI es necesario basarse en el uso que le daremos a este, aquí hay algunas medidas para utilizar en algunos indicadores:

1. Especificación y relevancia: Cada área debe ser definida con sus propios KPI, ya que no todos los indicadores son universales dentro de la industria.
2. Criterio SMART: Especifico, Medible, Alcanzable, Relevante, Limitado en tiempo. Deben ser cortos y que sean adaptadas a las capacidades y recursos disponibles.
3. Retroalimentación continua: Además de medir el progreso, los KPI fomentan la mejora continua en base a la revisión constante de los objetivos.
4. Adaptabilidad y flexibilidad: Los proyectos cambian, el mercado cambia y los objetivos también, es importante que los indicadores puedan variar en base a cualquier situación inesperada, así siga siendo importante.

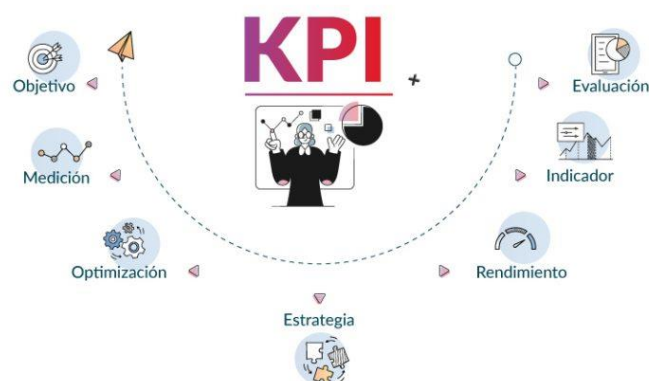


Figura 10: KPI.

Fuente: MARKETEROS AGENCIA.

8. MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un conjunto de procesos que realizan acciones para mantener máquinas o dispositivos industriales y prevenir una avería o falla inesperada durante el proceso. Implica revisiones constantes, reparaciones de emergencia y algunas formas de prevención o predicción en un plazo determinado.

El objetivo principal es garantizar la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de algún proceso o equipo, asegurando así el uso siempre y cuando se le requiera.

9. TIPOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es importante para garantizar que los equipos e instalaciones funcionen de manera adecuada y perduren durante el tiempo. Hay varios tipos de mantenimiento, cada uno con características, objetivos y métodos que los diferencian unos de otros. Ahora se muestran las principales categorías.

9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

El mantenimiento preventivo consiste en realizar inspecciones, ajustes, limpiezas, reemplazos y reparaciones planificadas en equipos e instalaciones para evitar fallos. La principal finalidad del mantenimiento preventivo es evitar fallos imprevistos y extender la duración de los equipos, asegurando un rendimiento eficaz y seguro. Se muestran alguna de las características de este tipo como la planificación regular basado en los tiempos y el uso de operación, reducción de averías y tiempos de inactividad, aumento de vida útil del componente, mejoras en la eficiencia operativa lo que resulta en mayor productividad y menor consumo de energía.

9.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

El mantenimiento correctivo es el principio básico de mantenimiento utilizado desde los inicios de la industria. Se centra en reparar equipos o activos de forma inmediata después de que presentan algún tipo de falla, buscando soluciones rápidas y efectivas. Aunque este método ofrece ciertos beneficios, también trae consigo importantes riesgos y desventajas como la detención del proceso o bajas en equipos importantes.

9.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

Utilizado principalmente el líneas o activos críticos dentro de la zona industrial, ya que el costo de los equipos o contrataciones externas es de un precio elevado en comparación a otras ramas, es técnico y avanzado. Algunas de las técnicas más utilizadas en este tipo son el análisis de vibraciones, termografías, impulsos de choque, ultrasonidos, radiografías y más. Sin embargo, determina una predicción de alguna falla o avería y así evitar problemas como la detención de nuestro equipo crítico.

9.4 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO:

Es de tipología básica dentro del rubro, se realiza mientras la máquina funciona, sin necesidad de detención. Se realiza en una serie de tareas que son limpieza, lubricación, tomas de datos, reapriete o ajuste de tornillos, inspecciones visuales con la finalidad de concretar el buen funcionamiento de los activos.

9.5 MANTENIMIENTO PROACTIVO:

Es un tipo de mantenimiento más avanzado que los otros tipos, con esta gestión se enfoca principalmente en evitar cualquier tipo de problemas a futuro, apoyado de análisis de causa raíz como también modificaciones a los procesos de la industria que lo desee implementar para aumentar su confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

10. TRAMPAS MÁGNETICAS:

Las trampas magnéticas son equipos o dispositivos utilizados principalmente en procesos de almacenamiento de materiales a granel, para así capturar y remover las partículas metálicas que contaminan el producto por diferentes razones como fragmentos de máquinas, piezas de herramientas, entre otras.

11. VÁLVULAS DE CUCHILLO K1:

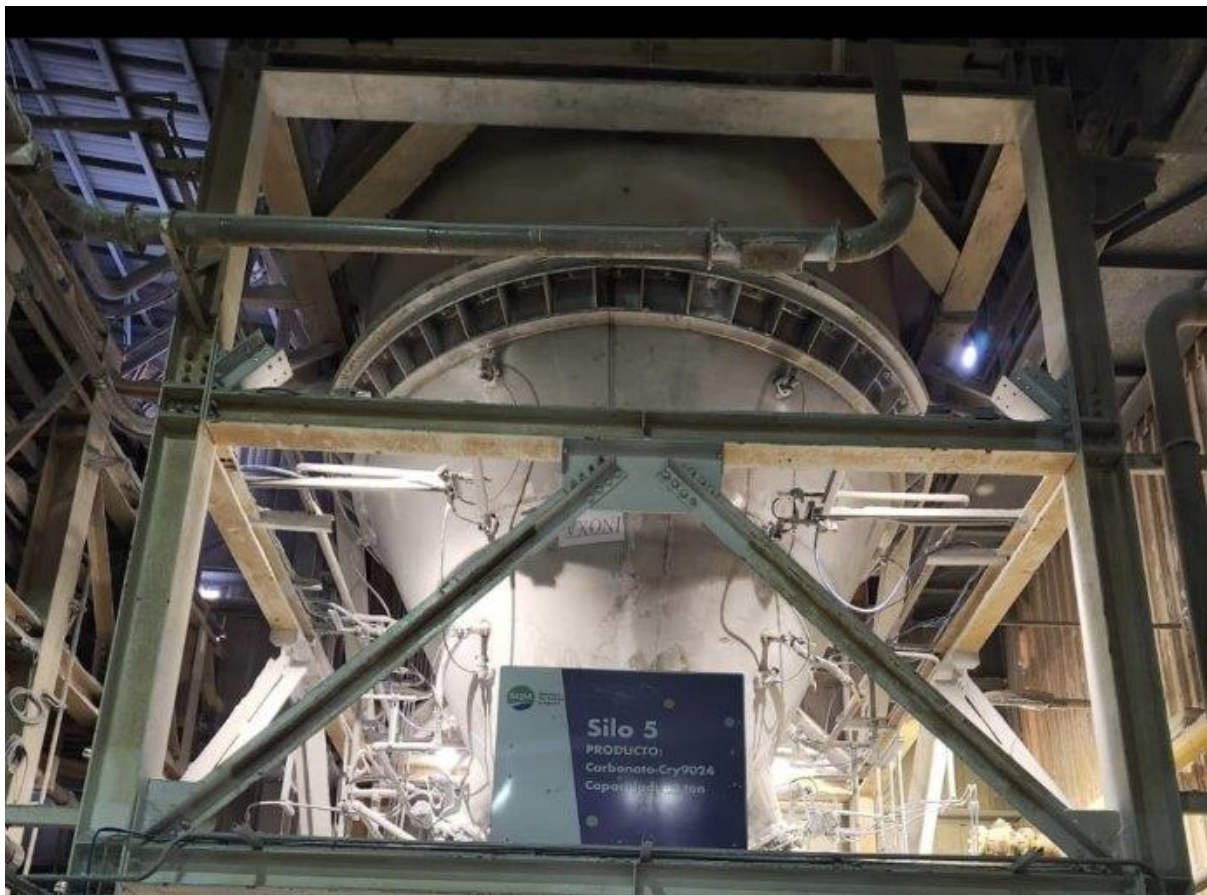
Estas válvulas son diseñadas y fabricadas gracias a su fácil uso. Permite que un fluido pase libremente sin obstrucciones mientras que si sucede una falla imprevista pueda mantener el fluido bajo control cerrando su llave.

12. VÁLVULA ROTATORIA

La válvula rotativa cumple un factor importante dentro de este proceso, ya que nos permite realizar una dosificación del material (litio) que está entrando al componente posterior. Su utilización es variada, puede estar en equipos como Silos, Tolvas, mezcladores, colectores de polvo, etc.

13. MATERIAL INOXIDABLE

El silo que analizaremos está fabricado y montado de un material ya conocido, acero inoxidable, el cuál es perfecto para evitar corrosiones y problemas de oxidación a medida que el tiempo avance, en este caso es de material AISI 316L.



*Figura 11: Silo 5.
Fuente: Elaboración propia.*

**CAPÍTULO III:
DISEÑO Y SOLUCIÓN**

11. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA

Hasta el día de hoy la planta sigue con congestión debido a la gran cantidad de litio que se solicita día a día, esto es un problema perjudicial para las ventas y el proceso completo.

Actualmente nuestro equipo está trabajando a una descarga total de 19,08 horas para las 80 toneladas existentes.

SILO			
CAPACIDAD (Kg)	VELOCIDAD DE DISTRIBUCIÓN (SEGUNDOS)	DESCARGA POR MAXISACO (Kg)	DESCARGA TOTAL POR CARGA (S)
80.000	300	350	68571
Total horas por carga de silo: 19,08 horas			

Tabla 1: Velocidad de distribución total.
Fuente: Elaboración propia.

TASA DE PRODUCCIÓN		
UNIDADES PRODUCIDAS	TIEMPO DE PRODUCCIÓN (HORAS)	UNIDADES POR HORA
144	12	12

Tabla 2: Tasa de producción diaria.
Fuente: Elaboración propia.

Mientras que la tasa de producción en base a sus 12 horas de trabajo diario produce una cantidad de 144 maxisacos, eso quiere decir que realiza 12 unidades por hora.

Uno de nuestros objetivos principales es doblar la tasa de producción, así mejorando los números actuales por los siguientes:

SILO DOBLE SALIDA			
CAPACIDAD (Kg)	VELOCIDAD DE DISTRIBUCIÓN (SEGUNDOS)	DESCARGA POR MAXISACO (Kg)	DESCARGA TOTAL POR CARGA (S)
80.000	150	350	34286
Total horas por carga de silo: 9,54 horas			

Tabla 3: Velocidad de distribución con doble salida.
Fuente: Elaboración propia.

TASA DE PRODUCCIÓN DOBLE SALIDA		
UNIDADES PRODUCIDAS	TIEMPO DE PRODUCCIÓN (HORAS)	UNIDADES POR HORA
288	12	24

Tabla 4: Tasa de producción estimada con doble salida.
Fuente: Elaboración propia.

Es por esto, que la primera propuesta del diseño y solución se basa en implementar un sistema de gestión proveniente de six-sigma, DMAIC, en el cual se definen los siguientes puntos de como abarcar la propuesta.

12. DMAIC

12.1 DEFINIR

Como principal objetivo de esta etapa es identificar el problema de nuestro equipo actual y establecer las metas o kpi's específicos para las mejoras.

Problema que se identificó:

- El silo presenta una única salida, debido a esto es que, durante el proceso de descarga y distribución del material se generan cuellos de botella hacia las etapas posteriores, limitando la capacidad adecuada.

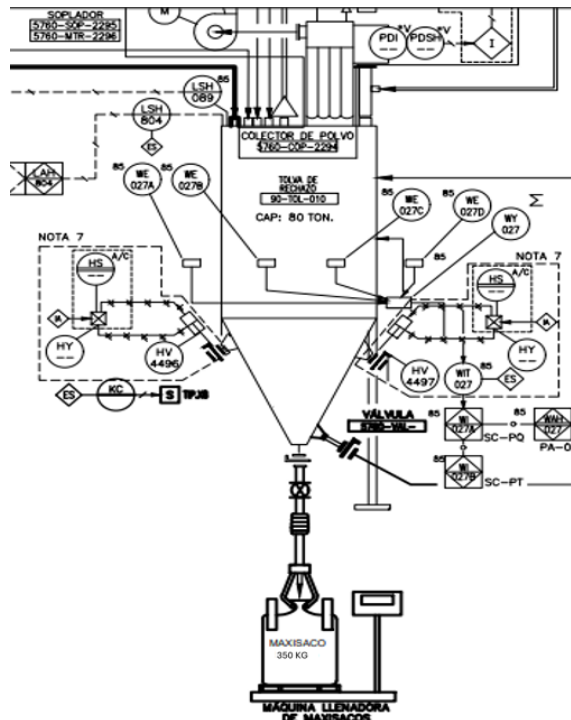


Figura 12: P&ID Del proceso actual.
Fuente: Elemento confidencial SQM.

Metas del proyecto establecido:

- Incrementar la capacidad de descarga de nuestro equipo.
- Reducir tiempos muertos o de inproductividad durante la operación.
- Mejorar la igualdad de distribución del en las salidas.

Como alcance se ha definido lo siguiente:

- Modificación estructural del silo, integrando dos salidas y a su vez, un sistema de control automático para optimizar su operación.

12.2 MEDIR

La etapa de medir es basada en la recopilación de los datos de nuestro equipo. Como variable crítica de nuestro proceso tenemos que:

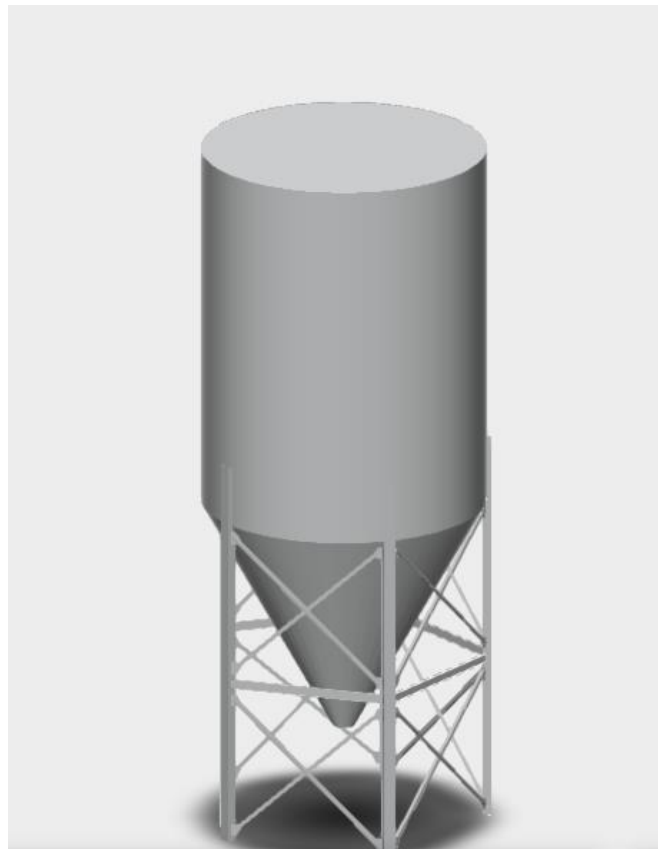
- Capacidad de descarga: 80 toneladas / 19.08 horas.
- Tiempo promedio de descarga: 5 minutos por ciclo.

Herramientas utilizadas para la recopilación.

- Cronometrado de ciclos por minuto (CPM).
- Revisión de datos operativos históricas.

Como primordial descubrimiento:

- El cuello de botella se produce debido a descargas lentas y un flujo que no es constante por toda la salida del silo, esto no solo produce los tiempos muertos donde se podría distribuir gran cantidad de litio, sino que, también aporta a una serie de desgastes en el equipo, generando costos extra de mantenimiento no programado.



*Figura 13: Referencia silo con una salida.
Fuente: Bibliocad.*

12.3 ANALIZAR

Para la etapa de analizar utilizamos herramientas de gestión para analizar la causa raíz del problema, algunos problemas que se presentaron de manera potencial son:

- Diseño estructural ineficiente, debido a una salida del silo que concentra todo el flujo del material.
- Mal distribución de material en el chute.
- Automatización deficiente o antigua.

Para los problemas se encontraron soluciones que mitiguen lo anterior:

- Opción N°1: Remodelar y crear un nuevo diseño en la salida del silo, para así aumentar la capacidad del flujo.
- Opción N°2: Implementar dos salidas en el equipo, optimizando de mejor manera el flujo y aumentando la capacidad de descarga, agregando mecanismos auxiliares vibratorios.
- Opción N°3: Integrar sistemas automáticos, que faciliten el control del proceso en tiempo real.

Analizando costos y mejoras, se optará por la opción número 2, implementando dos salidas en vez de una, a su vez optar por un sistema de control mejorado, lo que nos permitirá reducir significativamente los tiempos de descarga y mejorar la distribución del material.

12.4 MEJORAR

Como modificación estructural se realizará lo siguiente:

- Fabricación e instalación de dos salidas.
- Tendrán un diámetro de 12" cada una, evitando obstrucciones por atasco.
- Instalación de válvulas motorizadas tipo cuchillo 12" A515CF
- Toda modificación y fabricación será en acero inoxidable AISI 316L, así generando una mayor resistencia al desgaste del material en el tiempo.

El nuevo sistema estará fabricado para poder dividir en cantidades iguales las descargas, aportando así a un desgaste no tan concentrado en una sola área.

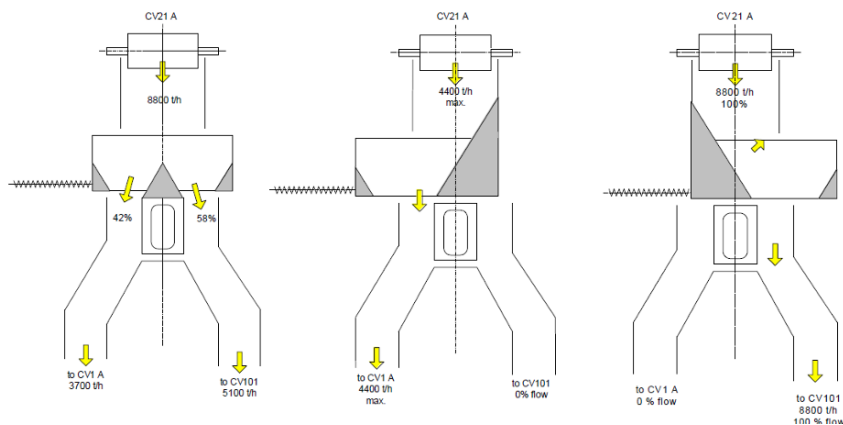


Figura 14: Funcionamiento chute pantalón.
Fuente: Optimización de la variabilidad. Ian Sturze Alarcón.

Para complementar la intervención del equipo y evitar que el material que está en nuestro silo tenga inconvenientes y atascos, se optará por mecanismos auxiliares que faciliten el flujo hacia las salidas posteriores, los componentes son mecanismos vibradores.

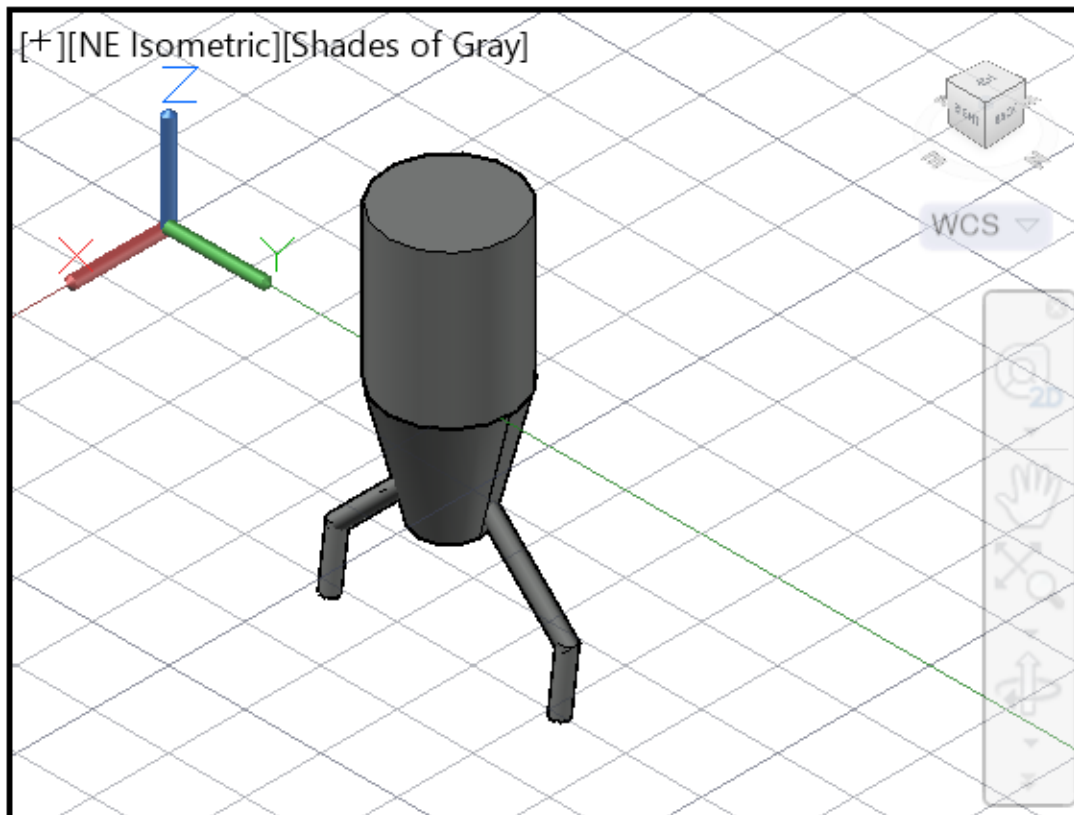


Figura 15: Prototipo final 3D.
Fuente: Elaboración propia.

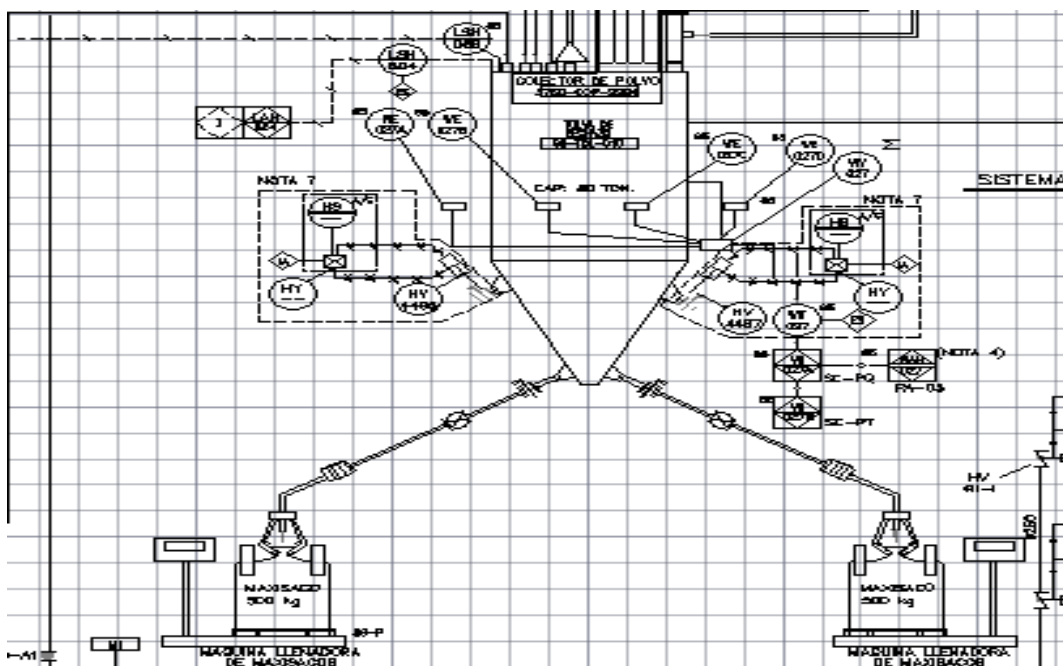


Figura 16: P&ID Final de prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

12.5 CONTROLAR

Ya una vez finalizada las 4 etapas anteriores, se realizará un control y planificación a nuestro sistema nuevo, establecer un mantenimiento es fundamental para garantizar un óptimo rendimiento del sistema DMAIC.

Primero vamos a priorizar los componentes críticos de nuestro nuevo silo y que son relevantes para la modificación.

- Silo principal 80 ton.
- Válvula rotatoria.
- Válvula de corte.
- Colectores de polvo.

12.5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La frecuencia con la que se debe realizar será de manera mensual o trimestral, todo depende de las horas de operación. Las actividades que se proponen en esta sección son las siguientes:

- Inspección Visual, detectando corrosión o grietas.
- Limpieza de válvulas, sensores y colectores de polvo.
- Inspección en niveles de aceite o lubricante a equipos o componentes mecánicos.
- Revisión de filtros en colectores de polvo.

12.5.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La sección de mantenimiento predictivo es de carácter continuo. Las actividades que se proponen son:

- Análisis de vibraciones en válvulas rotativas.
- Aplicación de cámara termográfica para sistemas rotativos.
- Monitoreo continuo de desgaste en componentes con ultrasonido.
- Supervisión de flujo y presión en colectores de polvo.

13. CALENDARIO DE MANTENIMIENTO

A continuación, se dejará plasmado un calendario con la frecuencia de mantenimiento a cada elemento.

Componente	Actividad de Mantenimiento	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Duración Estimada	Equipos y Herramientas	Responsable
Silo principal	Inspección visual (estructuras, juntas).	Preventivo	Trimestral	4 horas	Linterna, checklist de inspección.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Silo principal	Limpieza interna y externa.	Preventivo	Semestral	8 horas	Hidrolavadora, equipo de seguridad.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Silo principal	Calibración de sensores de nivel.	Preventivo	Trimestral	2 horas	Multímetro, calibrador digital.	Técnico Electrónico
Silo principal	Análisis de vibraciones en sensores.	Predictivo	Trimestral	2 horas	Análisis de vibraciones.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Válvula rotatoria	Lubricación y limpieza.	Preventivo	Mensual	1 hora	Grasa industrial, herramientas manuales.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Válvula rotatoria	Inspección de desgaste en paletas y eje.	Preventivo	Trimestral	2 horas	Micrómetro, herramientas manuales.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Válvula rotatoria	Termografía en motor eléctrico.	Predictivo	Trimestral	2 horas	Cámara termográfica.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Válvula de corte	Verificación operativa (apertura/cierre).	Preventivo	Mensual	1 hora	Checklist, equipo manual.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Válvula de corte	Ajustes y calibración.	Preventivo	Trimestral	2 horas	Herramientas de ajuste.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Colectores de polvo	Cambio de filtros.	Preventivo	Trimestral	4 horas	Repuestos, equipo de seguridad.	Técnico o ingeniero Mecánico
Colectores de polvo	Inspección de ductos.	Preventivo	Trimestral	2 horas	Inspección visual, linterna.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Colectores de polvo	Limpieza general.	Preventivo	Semestral	5 horas	Aspiradora industrial.	Técnico o ingeniero en mantenimiento
Colectores de polvo	Monitoreo de flujo y presión en ductos.	Predictivo	Trimestral	2 horas	Control de flujo.	Jefe de operaciones

*Tabla 5: Calendario de mantenimiento preventivo - predictivo.
Fuente: Elaboración propia.*

**CAPÍTULO IV:
EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.**

14. ADQUISICIÓN DE MATERIALES

Para comenzar con este capítulo se realizará una serie de tablas con valores reales del actual mercado en las herramientas y materiales que se utilizarán para la nueva versión del silo, incluyendo así los gastos de mano de obra y posterior mantenimiento.

Cada salida contará con:

- Cañería acero inoxidable AISI 316L.
- Válvula de cuchillo motorizada doble efecto A515CF.
- Rejilla magnética.
- Juntas de expansión Pn16.
- Flange 12" Slip-On

CANTIDAD	ELEMENTO	TIPO	DIÁMETRO	SCHL	METROS	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
2	CAÑERÍA	ACERO INOXIDABLE 316L	12"	40	10	\$ 2.760.000	\$ 5.520.000
8	FLANGE SLIP ON	ACERO INOXIDABLE 316L	12"	40	N/A	\$ 325.000	\$ 2.600.000
2	CODO 45°	ACERO INOXIDABLE 316L	12"	40	N/A	\$ 615.000	\$ 1.230.000
2	VÁLVULA MOTORIZADA	CUCHILLO DOBLE EFECTO	12"	N/A	N/A	\$ 994.000	\$ 1.988.000
2	IMÁN DE PARTICULAS MAGNÉTICAS	PARA POLVO	12"	N/A	N/A	\$ 2.600.000	\$ 5.200.000
2	JUNTA DE EXPANSIÓN	PN16	12"	N/A	N/A	\$ 350.000	\$ 700.000
						5%	\$ 17.238.000
							\$ 18.099.900

*Tabla 6: Gastos adquisición de materiales.
Fuente: Elaboración propia.*

La adquisición de los materiales establecidos previamente se puede apreciar un monto total de \$18.099.900 millones, considerando un 5% como delta.

15. RR.HH

Para la mano de obra se optará por una cuadrilla establecida por las siguientes categorías:

- Supervisor Piping.
- Capataz.
- Maestro Mayor.
- Maestro Primera.
- Maestro Segunda.
- Soldador TIG.

Se proyecta un trabajo con un límite de 200 horas para realizar el nuevo proyecto, se trabajará en turnos de 5x2 con un horario laboral de 8 horas. El precio cuenta el desarme, fabricación y montaje del nuevo modelo.

CARGO O CATEGORÍA	N° DE TRABAJADORES	TOTAL, HORAS DEL PROYECTO	VALOR HORA	TOTAL
SUPERVISOR	1	200	\$ 6.980	\$ 1.396.000
CAPATAZ	1	200	\$ 6.000	\$ 1.200.000
MAESTRO MAYOR	2	200	\$ 5.600	\$ 2.240.000
MAESTRO PRIMERA	4	200	\$ 5.000	\$ 4.000.000
MAESTRO SEGUNDA	2	200	\$ 4.890	\$ 1.956.000
SOLDADOR TIG	1	200	\$ 7.800	\$ 1.560.000
TOTAL, M.O	11			\$12.352.000

*Tabla 7: Precios Recursos Humanos.
Fuente: Elaboración propia.*

16. GASTOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO

En consideración de que es un mantenimiento el cuál será de carácter optativo, se realizará una tabla con los gastos que conlleva a que nuestro nuevo equipo, opere en óptimas condiciones de manera estable y logre mantenerse durante los años, para este ítem se necesitará lo siguiente.

Recurso humano:

- Técnico y/o ingeniero en mantenimiento industrial.

GASTOS MANTENIMIENTO INDUSTRIAL MENSUAL Y ANUAL		
TÉCNICO O INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.	\$ 1.500.000	MENSUAL
	\$ 18.000.000	ANUAL

Tabla 8: Recurso humano de mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Herramientas que se usarán:

- Análisis de vibraciones.
- Medidor de espesores.
- Cámara Termográfica.

CANTIDAD	EQUIPO	TIPO	PRECIO UNITARIO
1	MEDIDOR DE VIBRACIONES	VETO: RANGO DE FRECUENCIA 10Hz A 1KHz	\$ 2.300.000
1	MEDIDOR DE ESPESORES	VETO: TANGO 0-65 - 250 mm	\$ 1.900.000
1	CÁMARA TERMOGRÁFICA	RANGO DE TEMPERATURA -20° A 550°C	\$ 3.200.000
TOTAL			\$ 7.400.000

Tabla 9: Adquisición de materiales mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Los gastos totales del primer mes de mantenimiento son \$7.400.000 millones de pesos, posteriormente este costo disminuirá de manera considerable dejando solo como gastos los servicios de nuestro mantenedor.

17. FLUJO DE CAJA

Actualmente según la fuente "EX-ANTE" El litio en el último periodo del 2024 llegó a costar \$12.000.000 millones de pesos por cada tonelada, por lo tanto, se realizará el flujo de caja anual para cada periodo con el mismo valor para el formato de silo actual versus el proyecto.

ÍTEM	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	\$	\$	\$	\$	\$	\$
INGRESOS	435.456.000.000	435.456.000.000	435.456.000.000	435.456.000.000	435.456.000.000	435.456.000.000
DEUDA DE INVERSIÓN						
RECURSOS HUMANOS						
ADQUISICIÓN DE MATERIALES						
ING. EN MANTENIMIENTO						
EQUIPOS DE MANTENIMIENTO						
SUMATORIA	\$ 435.456.000.000	\$ 435.456.000.000	\$ 435.456.000.000	\$ 435.456.000.000	\$ 435.456.000.000	\$ 435.456.000.000
TASA DE DESCUENTO	100%	110%	121%	133%	146%	161%
VALOR PRESENTE	\$ 435.456.000.000	\$ 395.869.090.909	\$ 359.880.991.736	\$ 327.410.526.316	\$ 298.257.534.247	\$ 270.469.565.217

*Tabla 10: Flujo de caja silo actual.
Fuente: Elaboración propia.*

ÍTEM	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
		\$	\$	\$	\$	\$
INGRESOS		870.912.000.000	870.912.000.000	870.912.000.000	870.912.000.000	870.912.000.000
DEUDA DE INVERSIÓN		\$ - 36.990.000				
RECURSOS HUMANOS	\$ - 12.352.000					
ADQUISICIÓN DE MATERIALES	\$ - 17.238.000					
ING. EN MANTENIMIENTO		\$ - 18.000.000	\$ - 18.000.000	\$ - 18.000.000	\$ - 18.000.000	\$ - 18.000.000
EQUIPOS DE MANTENIMIENTO	\$ - 7.400.000					
SUMATORIA	\$ - 36.990.000	\$ 870.857.010.000	\$ 870.894.000.000	\$ 870.894.000.000	\$ 870.894.000.000	\$ 870.894.000.000
TASA DE DESCUENTO	100%	110%	121%	133%	146%	161%
VALOR PRESENTE	\$ - 36.990.000	\$ 791.688.190.909	\$ 719.747.107.438	\$ 654.807.518.797	\$ 596.502.739.726	\$ 540.927.950.311

*Tabla 11: Flujo de caja proyectado.
Fuente: Elaboración propia.*

Para terminar con el capítulo IV de nuestro proyecto, el flujo de caja nos permite visualizar una viabilidad tanto en los ingresos financieros como en la inversión inicial, la cuál se puede ver una ayuda considerable en las ganancias gracias a la mejora propuesta, no solo mejorando sus números en tasa de producción, si no que también en el valor neto actual.

**CAPITULO V:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

18. CONCLUSIÓN

Después de un análisis por esta nueva área, podemos concluir que la implementación de esta mejor conlleva un gran costo inicial, pero a medida que va pasando el tiempo se ve una notable mejora no solo en lo económico, si no que también en el aumento de producción, lo cual nos permite obtener ventaja en caso de un aumento en las altas demandas, dando así un paso adelante sobre la competencia, el litio ha impactado de gran forma a la revolución industrial, sus multiusos permiten al nuevo mundo una infinidad de proyectos de manera eficaz y confiable.

Con las nuevas mejoras podemos obtener una certeza y se mitigan los problemas e imprevistos que pueden generar los equipos que no cuentan con un plan de mantenimiento. Además, con el enfoque DMAIC no solo se pueden implementar nuevas gestiones, sino que también se puede adaptar a nuevos cambios y formas, ayudando así a la mejora continua de este proyecto, ya se comprobó su rentabilidad a corto plazo y es viable para su construcción.

19. RECOMENDACIONES

- 1- La mantención es indispensable dentro de la industria, está la opción de optar por un técnico o ingeniero en mantenimiento para su realización.
- 2- Realizar capacitaciones para el uso correcto de los dispositivos (medidor de espesores, medidor de vibraciones, cámara termográfica) que son altamente delicados, saber como usar e interpretar las gráficas nos permitirá saber como proceder a su posterior mantención o cambio por reparación.
- 3- Facilitar un CMMS para gestionar y controlar los trabajos que se realizarán dentro del equipo.

20. ANEXOS.

Cantidad	U.M.P./PUN	DESCRIPCION	Código SAP	OC	Neces Unitario adjudicat	Moneda	Precio Total Adm.	Importe Arriba
24	[m]	Cañería Acero Carbono Sch 20 (8.35mm espesor) Ø 12"	3148929	3000013776	\$	57.640	CLP	\$ 1.383.952
18	12"	Cañería Acero Carbono Ø 12" ASTM A106 Gr B, SMLS, Sch STD, Extremos Biselados, ASME B36.10.	3164169	3000014064	\$	87.498	CLP	\$ 1.574.970
3	12"	Codo 90° Acero Carbono Ø 12" ASTM A234 Gr WPB, Sch STD, Extremos Biselados, ASME B 16.5.	3165349	3000014064	\$	123.578	CLP	\$ 370.734
2	8" x 12" (un)	Reducción Concentrica ASTM A-234 WPB Sch STD, W. 12" x 12"	3160427	3000014068	\$	99.325	CLP	\$ 198.650
5	2" x 20" (un)	Reducción Concentrica ASTM A402 1/4" SCH 10 S.W. 12" x 10"	3054691	3000014068	\$	140.715	CLP	\$ 703.575
1	12"	Flange Slip-On ASTM A-105 Clase 150 ANSI B16.5 R.F. 12"	3168175	3000014068	\$	73.436	CLP	\$ 73.436
1	N/A	VALVULA MARIPOSA HIGH PERFORMANCE, CUERPO Y DISCO ASTM A251 Gr CF8M (30430), E/E AC INOX 304, ASIENTO RTFE, DI	3155379	3000015042	\$		CLP	\$ 2.157.813
1	N/A	VALVULA COMPUERTA OS&Y - VASTAGO ASCENDENTE CON TOBORNILLO Y PUNZO EXTERIOR, CUERPO ASTM A511 Gr CF8M (30306), TR	3168139	3000015042	\$		CLP	\$ 3.012.350
1	N/A	VALVULA MARIPOSA CONCENTRICA, DISCO, CUERPO Y DISCO POLIPROPILENO PPH, ASIENTO EPDM, E/E AC INOX 304, CONEXI	3025600	3000015042	\$		CLP	\$ 2.157.813
42	M	CAÑERIA CPVC SCH 80 6 LMTS DE LARGO 12"	3190859	3000015501	\$	805.230	CLP	\$ 33.819.660
3	C/U	ODO 90° CPVC SCH 80 SW 12"	3182002	3000015501	\$	3.297.417	CLP	\$ 9.892.251
42	M	CAÑERIA CPVC SCH 80 6 LMTS DE LARGO 12"	3190859	3000015501	\$	805.230	CLP	\$ 33.819.660
10	C/U	Codo 90° Ø 12" CPVC SCH 80 (S)	3182002	3000015509	\$	1.180.300	CLP	\$ 11.803.000
48	12"	Cañería Negra Ø 12" Acero Carbono con Costura A-5 Sch 20 - Extremos Biselados - Tira 6m	3148929	3000015514	\$		CLP	\$ 2.334.865
1	N/A	VALVULA MARIPOSA HIGH PERFORMANCE DOBLE EXCENTRICA, CUERPO, DISCO Y E/E ASTM A251 Gr CF8M (30306), ASIENTO RTFE,	3210306	3000016735	\$		CLP	\$ 3.858.094
2	12"	VALVULA DE COMPUERTA DE 12" CLASE 150 RF ANSI B16.5 CUERPO ASTM A216 WCB, TRIM B 13% VASTAGO 410 OPERACION M	3021667	3000017436	\$	2.152.770	CLP	\$ 4.305.540
4	12"	CU FLANGE SLIP-ON DE 12" ACERO INOXIDABLE 316 CLASE 150 RF ANSI B16.5 ASTM A352	3182884	3000017436	\$	324.960	CLP	\$ 1.299.920
4	12"	CU FLANGE SLIP-ON DE 12" ESPRIMEFLEXICA CLASE 150 RF ANSI B16.5	3182884	3000017436	\$	324.960	CLP	\$ 1.299.920

Ilustración 1: Tabla de precios SQM.

Fuente: SQM.

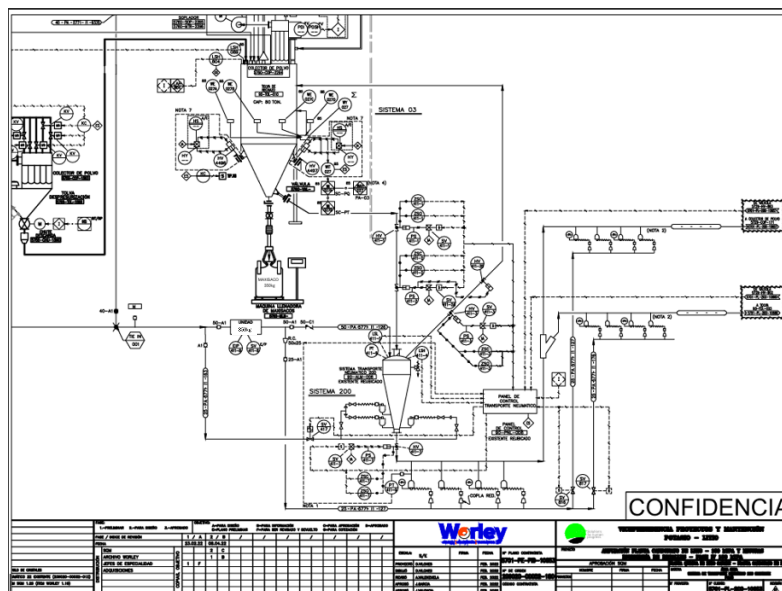


Ilustración 2: P&ID SQM.

Fuente: SQM.

21. BIBLIOGRAFÍA

- Nuñez, L. (2023, 20 marzo). Silos - Consideraciones generales - INESA | TECH. *INESA | TECH.*
- Learn Lean Sigma. (2024, 12 mayo). *Guide: DMAIC - Learn Lean Sigma.*
- Alvnx_Edit. (2024, 2 mayo). *Tipos de Silos para la Industria | Alvinox.* Alvinox.
- Martins, J. (2023, 16 agosto). Qué es un KPI, para qué sirve y cómo utilizarlo en tu proyecto [2023] • Asana. *Asana.*
- Clavijo, T. (2024, 27 mayo). Los 12 KPI más importantes del Marketing Digital. *Marketeros Agencia.*
- Sánchez, D. (2021, 23 noviembre). *¿Para qué sirve el mantenimiento industrial?* CIMELSA.
- *Trampas magnéticas | Brasil Magnets.* (s. f.).
- *Silo 3d en AutoCAD | Descargar CAD (207.69 KB) | Bibliocad.* (s. f.). Bibliocad.
- *VALVULA CUCHILLO 12.* (s. f.). InterFluid.
- Goudsmit Magnetics. (s. f.). *Rejillas magnéticas - 300 mm - Goudsmit Magnetics.*
- IPROTEC. (2024, 26 septiembre). *JUNTA DE EXPANSION TIPO JGD NBR CARBON STEEL ZINC ANSI B16.5 150 | iProtec.* Iprotec.
- *Medidor de vibración.* (s. f.).
- *Medidor de espesor ultrasonido.* (s. f.).
- *FLIR E6-XT | Colvin y CIA Ltda.* (s. f.). Colvin y Cia Ltda.