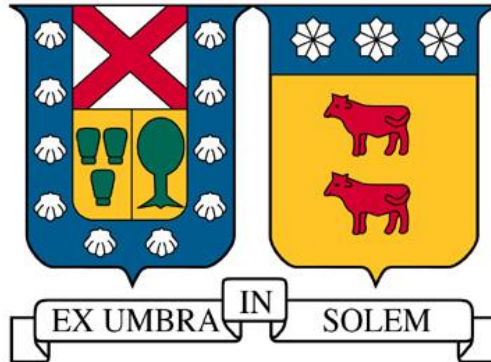


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO – CHILE



EVALUACIÓN DE MEJORAS AL PROCESO DE MANTENIMIENTO
DE CILINDROS, MEDIANTE APLICACIÓN DE LEAN MANAGEMENT
PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA OPERATIVA Y LA
DISPONIBILIDAD DE CILINDROS APTOS PARA ENVASADO DE
GASES EN PLANTA DE AIR PRODUCTS SANTIAGO

JIMENA ALEJANDRA GARCÍA OSSANDÓN

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: SR. PABLO VIVEROS

SEPTIEMBRE 2026



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: Evaluación de mejoras al proceso de mantenimiento de cilindros, mediante aplicación de lean management para aumentar la eficiencia operativa y la disponibilidad de cilindros aptos para envasado de gases en plan de Air Products Santiago

Nombre del candidato(a): Jimena Alejandra García Ossandón

Carrera / Grado: Magíster en Ingeniería Industrial

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

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Viveros Gunckel, 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:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-09-2026

; 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.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo.

En primer lugar, agradezco a Sebastián, por su amor y apoyo incondicional durante este proceso.

Agradezco especialmente a todo el equipo del Taller Test Shop de la planta de Cerrillos, quienes facilitaron el levantamiento de información y compartieron generosamente su experiencia y conocimientos sobre el proceso estudiado. En particular, deseo agradecer a Don Alejandro Lara, cuya disposición, experiencia y observaciones fueron fundamentales para comprender las restricciones operacionales del taller y orientar el desarrollo de propuestas aplicables a su realidad.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a Carlos Ulloa, por su orientación, recomendaciones y permanente apoyo durante el desarrollo de esta tesina, contribuyendo con una valiosa visión práctica y estratégica respecto a los desafíos operacionales abordados.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y profesores guía del Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María, con quienes compartí aprendizajes, desafíos y experiencias a lo largo de este proceso.

Resumen ejecutivo

La presente tesina tuvo como objetivo proponer mejoras al proceso de mantenimiento de cilindros del Taller Test Shop de Air Products, ubicado en la planta de Cerrillos, mediante la aplicación de herramientas de Lean Management, con el propósito de aumentar la eficiencia operativa y la disponibilidad de cilindros aptos para el llenado de gases comprimidos. Para el desarrollo de la investigación se realizó un levantamiento integral del proceso mediante entrevistas a los principales actores, observación en terreno, revisión de procedimientos operacionales, análisis de datos históricos provenientes de SAP, mediciones de tiempos y elaboración de Value Stream Mapping para las principales rutas de procesamiento. Complementariamente, se aplicaron herramientas de análisis causal para identificar las causas raíz de las restricciones y desperdicios observados.

El diagnóstico evidenció que el Taller Test Shop tiene alta variabilidad de rutas de mantenimiento y una demanda significativa de procesamiento. Asimismo, se identificó una diferencia entre la cantidad promedio de cilindros que ingresan al taller y aquellos que egresan aptos para llenado, situación que limita la disponibilidad de activos para el negocio y genera acumulación de trabajo en proceso. Entre las principales restricciones detectadas destacan la capacidad de los equipos desvalvuladores, la etapa de prueba hidrostática y las actividades de preparación asociadas al proceso de pintura. Adicionalmente, se identificaron desperdicios relacionados con transporte interno, almacenamiento, clasificación, búsqueda de insumos y registro manual de información.

A partir de estos resultados se diseñó una cartera de mejoras agrupadas en tres categorías: aumento de capacidad productiva, eficiencia operacional y seguridad y ergonomía. Las iniciativas propuestas incluyen la incorporación y recuperación de equipamiento crítico, mejoras en la gestión visual y el almacenamiento, digitalización de registros operacionales, optimización del flujo de materiales y fortalecimiento de las condiciones de trabajo.

La evaluación realizada demuestra que las iniciativas orientadas al aumento de capacidad presentan viabilidad técnica y económica bajo los escenarios analizados. Asimismo, las mejoras operacionales propuestas permiten reducir actividades que no agregan valor y fortalecer la trazabilidad del proceso. Finalmente, se desarrolló una metodología de priorización y una hoja de ruta de implementación gradual, permitiendo orientar la toma de decisiones futuras para mejorar la productividad, la disponibilidad de cilindros y la disciplina operacional del Taller Test Shop

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN EJECUTIVO.....	III
ÍNDICE	IV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
3 OBJETIVOS	2
3.1 OBJETIVO GENERAL	2
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
4 ALCANCE	4
5 METODOLOGÍA PROPUESTA.....	5
5.1 DEFINICIÓN DE LÍNEA BASE	5
5.1.1 Entrevistas con partes interesadas	6
5.1.2 Recorrido dentro de la planta	6
5.1.3 Revisión datos de producción	6
5.1.4 Revisión Procedimientos Operacionales	6
5.1.5 Revisión de Layout.....	6
5.1.6 Diagrama de flujo del proceso.....	7
5.1.7 Medición de tiempos	7
5.1.8 Value Stream Mapping.....	7
5.2 DIAGNÓSTICO PROCESO ACTUAL.....	8
5.3 DISEÑO DE MEJORAS PROPUESTAS	8
5.4 CLASIFICACIÓN DE MEJORAS PROPUESTAS	8
6 ESTADO DEL ARTE.....	10
6.1 ROL DEL CILINDRO COMO ACTIVO Y SU IMPACTO EN EL SERVICIO	10
6.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO EN EL TEST SHOP.....	11
6.3 CILINDROS: MATERIALIDAD, COMPONENTES CRÍTICOS Y MODOS DE FALLA.....	11
6.4 MARCO NORMATIVO CHILENO PARA INSPECCIÓN Y PRUEBA DE CILINDROS	12
6.4.1 Inspección periódica de Cilindros de Acero	12
6.4.2 Método de ensayo hidrostático por expansión volumétrica	12
6.5 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN	14
6.5.1 Principios Lean	14

6.5.2	<i>Herramientas Lean aplicables al Test Shop</i>	15
7	DESARROLLO DEL TEMA	16
7.1	DESCRIPCIÓN PROCESO ACTUAL TALLER TEST SHOP	16
7.1.1	<i>Clasificación Inicial Cilindros</i>	16
7.1.2	<i>Transporte de Cilindros OCYL</i>	16
7.1.3	<i>Inspección Visual</i>	16
7.1.4	<i>Venteo de Cilindros</i>	17
7.1.5	<i>Retiro de Válvula e Inspección Interna</i>	17
7.1.6	<i>Granallado</i>	17
7.1.7	<i>Prueba Hidrostática</i>	17
7.1.8	<i>Reemplazo de Válvula</i>	17
7.1.9	<i>Pintura</i>	18
7.1.10	<i>Lavado</i>	18
7.1.11	<i>Secado</i>	18
7.1.12	<i>Clasificación NRRT</i>	18
7.2	DEFINICIÓN LÍNEA BASE	18
7.2.1	<i>Entrevistas principales actores</i>	18
7.2.2	<i>Recorrido y observación proceso</i>	20
7.2.3	<i>Diagrama de flujo proceso</i>	20
7.2.4	<i>Layout actual del proceso</i>	23
7.2.5	<i>Disponibilidad de equipos y recursos</i>	27
7.2.6	<i>Procedimientos Operacionales</i>	28
7.3	DIAGNÓSTICO CUANTITATIVO DEL PROCESO ACTUAL	29
7.3.1	<i>Medición de tiempos por estación</i>	29
7.3.2	<i>Análisis de datos de producción SAP</i>	30
7.3.3	<i>Datos de Producción Registro Manual</i>	36
7.3.4	<i>Value Stream Map</i>	37
7.3.5	<i>Definición de indicadores</i>	41
7.4	IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS	43
7.4.1	<i>Orden y Organización de Insumos</i>	43
7.4.2	<i>Almacenamiento excesivo de cilindros dentro del taller</i>	43
7.4.3	<i>Traslado Manual de Cilindros en la Planta</i>	44
7.4.4	<i>Registro de Información de Proceso</i>	44
7.4.5	<i>Clasificación inicial de los cilindros</i>	44
7.5	IDENTIFICACIÓN CUELLOS DE BOTELLA	46

7.5.1	<i>Equipos Desvalvuladores</i>	46
7.5.2	<i>Máquina de Prueba Hidrostática (PH)</i>	47
7.5.3	<i>Remoción de etiquetas</i>	47
7.5.4	<i>Equipo Granallado</i>	48
7.6	ANÁLISIS CAUSAL	48
7.6.1	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	48
7.6.2	<i>Aplicación 5 porqués</i>	49
8	PLAN DE ACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS	51
8.1	FORMULACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MEJORAS PROPUESTAS	51
8.1.1	<i>Mejoras con impacto directo en capacidad productiva</i>	51
8.1.2	<i>Mejoras de eficiencia operacional</i>	52
8.1.3	<i>Mejoras de seguridad y ergonomía</i>	53
8.2	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS	54
8.3	EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS PROPUESTAS	59
8.3.1	<i>Metodología de evaluación diferenciada</i>	59
8.3.2	<i>Evaluación mejoras de capacidad</i>	60
8.3.3	<i>Evaluación mejoras de eficiencia operacional</i>	62
8.3.4	<i>Evaluación de mejoras de seguridad y ergonomía</i>	63
8.4	PRIORIZACIÓN Y HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN	64
8.4.1	<i>Criterios de priorización</i>	65
8.4.2	<i>Escala de calificación y ponderaciones</i>	67
8.4.3	<i>Nivel de prioridad</i>	68
8.4.4	<i>Brechas de información y nivel de evidencia</i>	69
8.4.5	<i>Matriz de priorización</i>	70
8.4.6	<i>Plan de implementación por fases</i>	72
8.4.7	<i>Seguimiento y control de las mejoras</i>	75
8.4.8	<i>Síntesis del capítulo</i>	77
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	80
10	ANEXOS	82

1 Introducción

Indura S.A es una empresa de origen chileno, que actualmente es una de las filiales de la empresa multinacional Estadounidense Air Products, dedicada a la elaboración y comercialización de gases industriales. Los gases industriales son comercializados en distintos formatos: como gas comprimido (compuesto en estado gaseoso a alta presión) o como gas en estado líquido (a temperaturas criogénicas).

Gran parte del negocio de Indura corresponde a la comercialización de gases cilindros de gases comprimidos, la compañía cuenta con un gran volumen de activos para este tipo de envasado. Los cilindros son activos que cuentan con una extensa vida útil si son correctamente manipulados y mantenidos.

Los cilindros de gases son envases metálicos, pueden ser de acero al carbono o aluminio, los cuales están diseñados para soportar las altas presiones a las cuales se almacenan los gases, se manejan diversos formatos de tamaño, pero por lo general los formatos van desde los 4 litros, 40 litros, 50 y 52 litros de capacidad volumétrica.

Por normativa, para asegurar que los cilindros estén aptos y en condiciones de soportar las altas presiones de operación es que deben pasar por un proceso de inspección y mantención periódicamente, dependiendo del material (NCh 2244, 1995) (NCh 2247, 1995). Indura cuenta con un área especializada para la inspección, mantenimiento y preparación de cilindros para el posterior proceso de envasado de gases, en donde se asegura que todo cilindro que se llena está condiciones óptimas para almacenar gases a altas presiones y así evitar cualquier incidente por defectos en su integridad mecánica. La principal tarea de mantención que se realiza en el taller es la prueba hidrostática, que consiste en someter el cilindro a alta presión, utilizando agua, para detectar defectos en el material.

El área dedicada a la preparación y disposición de cilindros aptos para envasar gases se denomina Taller Test Shop y está ubicada en la comuna de Cerrillos, en el sitio también se encuentran las plantas de mayor capacidad de producción y envasado de cilindros de gases comprimidos de la compañía.

2 Problema de Investigación

Actualmente el proceso de inspección, mantenimiento y preparación de cilindros del Taller Test Shop se ha convertido en el cuello de botella del proceso de llenado de cilindros, ya que además de proveer de cilindros aptos de llenado para la planta de Cerrillos, debe suministrar cilindros aptos para llenado a plantas de otras regiones.

De igual forma la compañía cuenta con una gran cantidad de cilindros (5000 unidades) no aptos para el llenado y que requieren ser procesados en el taller, para dar respuesta a la demanda de las plantas de llenado a las cuáles abastece. Dicho de otra forma, hay una gran cantidad de activos que no están siendo aprovechados para comercializar gases comprimidos.

Debido a lo anterior es que surge la pregunta: ¿qué modificaciones se pueden realizar al proceso actual del mantenimiento de cilindros que permita aumentar la capacidad de procesamiento del Taller Test Shop?

Para definir las modificaciones que deben realizarse, se debe realizar un análisis a todo el proceso, definición del flujo de proceso, layout del taller, disponibilidad de recursos e insumos, capacidad equipamiento existente, tiempos de proceso, métodos de medición de la producción actual, efectividad de la medición, procedimientos de operación, capacitaciones y otros.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Proponer mejoras a corto y largo plazo en el proceso de mantenimiento de cilindros, para aumentar la productividad del área y asegurar una mayor disponibilidad de cilindros aptos para el llenado de gases comprimidos.

3.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte de metodologías de mejora continua empleadas actualmente en la industria para sustentar la metodología que se utilizará.
- Analizar el desempeño del proceso actual de mantenimiento de cilindros, la utilización de recursos, la configuración de layout del proceso y capacidad de procesamiento, para establecer una línea base del proceso.

- Identificar cuellos de botella o desperdicios del proceso que limitan la cantidad de cilindros que se procesan, para optimizar el mantenimiento de cilindros.
- Proponer mejoras aplicables a corto y largo plazo, evaluar su factibilidad técnica y económica para establecer un plan de acción.
- Definir indicadores para determinar desempeño actual y la efectividad de las mejoras propuestas, para cuantificar su impacto.
- Elaborar recomendaciones para mantener la disciplina operacional en el desarrollo del proceso.

4 Alcance

El análisis se realizará en el Taller Test Shop de la planta de Air Products, ubicada en la comuna de Cerrillos, donde se lleva a cabo el proceso de mantenimiento y acondicionamiento de cilindros para su posterior llenado con gases comprimidos (oxígeno, nitrógeno, argón, aire, helio, hidrógeno, dióxido de carbono, óxido nitroso, mezclas industriales y medicinales).

El estudio abarcará el proceso desde la inspección inicial del cilindro, hasta la liberación del cilindro para llenado.

Se realizará una medición de tiempos por etapas, comparando el tiempo total del proceso, bajo su configuración actual del layout, así como la disponibilidad de recursos humanos y técnicos. Las mediciones se contrastarán con los registros obtenidos de SAP sobre el volumen de cilindros, con el objetivo de identificar las principales ineficiencias operativas del proceso. El estudio aplicará a cilindros de acero al carbono y un porcentaje menor de cilindros de aluminio, considerando la periodicidad y requerimientos específicos de cada material.

Con la información levantada se elaborará un diagnóstico del proceso actual y se propondrán mejoras a corto y largo plazo, realizando evaluaciones técnicas y económicas de éstas y definiendo indicadores para medir la efectividad de su implementación. El desarrollo de las mejoras se basará en las exigencias de seguridad y almacenamiento de sustancias peligrosas, procedimientos internos, normativa aplicable, utilizando herramientas de la Metodología Lean como: Value Stream Mapping, 5S, OEE, entre otras. Uno de los principales indicadores que se definirán será la producción diaria del Test Shop, así como el tiempo promedio de realización de cada etapa y métricas de utilización y desempeño de los equipos principales (prueba hidrostática, desvalvuladora, granalladora, pintura, etc).

Otro de los focos principales de esta investigación es fortalecer y promover las buenas prácticas para alcanzar la excelencia operacional. A partir de los análisis realizados, se busca evidenciar ante el personal la importancia de mantener la disciplina operacional y, con ello, fomentar una mayor colaboración en la identificación y aplicación eficaz de mejoras en el proceso, así como el crecimiento profesional.

5 Metodología Propuesta

El mantenimiento de los cilindros tiene alta exigencias de seguridad, trabajo con flujos multiproducto, rutas variables y manejo de inventarios elevados.

Por ello se aplicarán herramientas de Lean Management al proceso del Taller Test Shop, para identificar los desperdicios del proceso actual y elaborar una propuesta de mejoras evaluadas técnica y económicamente para su futura aplicación.

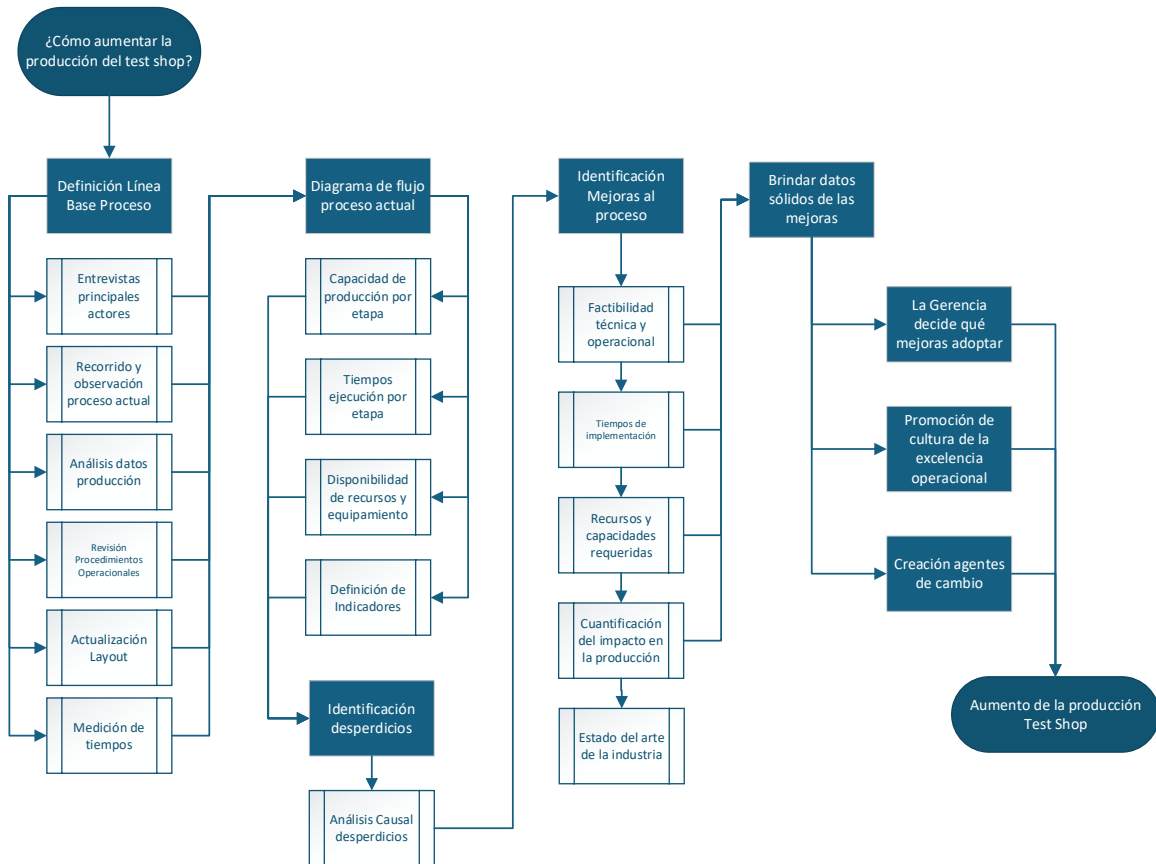


Figura 1: Diagrama de flujo metodología propuesta, Fuente: Elaboración Propia

5.1 Definición de línea base

Se realizará un levantamiento del proceso actual, de manera de describir detalladamente como se lleva a cabo del proceso de mantenimiento de cilindros. La información para describir el proceso se obtendrá de acuerdo con lo siguiente:

5.1.1 Entrevistas con partes interesadas

Para obtener información sobre el proceso, se realizarán entrevistas a los principales actores del proceso: Jefe del Test Shop, Supervisores y Operadores de cada etapa del proceso. La finalidad de las entrevistas es:

- Identificar los principales problemáticas o limitaciones del proceso, desde la visión de las personas que trabajan en el proceso.
- Confirmar el flujo del proceso, y cómo éste es entendido por las personas que lo realizan.

5.1.2 Recorrido dentro de la planta

Se realizarán recorridos por la planta, para observar en tiempo real la ejecución de cada etapa del proceso, esto permitirá identificar los principales desperdicios y se podrá contrastar con la visión de las personas que llevan a cabo las tareas. Adicionalmente, estos recorridos servirán para establecer si el layout actual de los equipos contribuye o no a la generación de desperdicios y para validar la disponibilidad de equipos y de insumos requeridos para cada etapa del proceso.

5.1.3 Revisión datos de producción

Se realizará un análisis de los datos obtenidos desde sistema SAP, en donde se detalla la producción de la planta, se contrastará esta información con el registro manual que realizan los operadores y se propondrán indicadores adecuados para poder establecer los objetivos de la aplicación de la metodología, así como los indicadores que serán utilizados para medir la efectividad de la aplicación de las mejoras en el futuro.

5.1.4 Revisión Procedimientos Operacionales

Se recopilarán todos los procedimientos de operación que existan para el Taller de Test Shop, y se determinará si es que los procedimientos actuales están correctamente diseñados, y si cuentan con información actualizada del proceso.

5.1.5 Revisión de Layout

Se realizará la actualización del plano de la planta, corrigiendo la ubicación actual de cada etapa del proceso. Con este levantamiento se podrá identificar las principales falencias en

el diseño de layout y si existen modificaciones que resulten beneficiosas para optimizar el proceso.

5.1.6 Diagrama de flujo del proceso

Con la información levantada, se elaborará un diagrama de proceso, en donde se especifique información detallada de cada etapa del proceso: etapas, decisiones, rutas operativas, entradas, salidas, recursos requeridos, y puntos de espera. Este diagrama servirá para definir las mediciones que deben realizarse para caracterizar el proceso actual.

5.1.7 Medición de tiempos

Se realizará la medición de tiempos por etapas y por proceso completo. Las mediciones serán: tiempo por actividad o etapa, tiempos de preparación y transferencia, y tiempos de espera por disponibilidad de recursos o insumos.

Como en la planta se procesan cilindros de diferentes gases y formatos, se agruparán por tipo para tener el análisis segmentado, considerando los códigos de material que se producen en mayor cantidad.

Adicionalmente se analizarán por separado las distintas rutas en el mantenimiento de cilindros, es decir, en ocasiones un cilindro que se granalla no necesariamente pasa por la prueba hidrostática.

Se registrarán las principales condiciones de variabilidad, como, por ejemplo, cilindro con alto gas residual, cilindro con contaminación, condición del manto.

Las mediciones del tiempo realizadas en terreno deben ser contrastadas con la información en SAP, se debe promover, durante esta etapa de medición el correcto registro de cada tarea en SAP, para luego poder contrastar la información.

5.1.8 Value Stream Mapping

Se elaborará un Value Stream Map del estado actual, se incorporarán los tiempos de proceso, tiempos de espera, niveles de WIP (Work in Progress), flujos de información, etc. Este diagrama permitirá visualizar el flujo actual y cuantificar pérdidas, para luego establecer prioridades de intervención.

5.2 Diagnóstico Proceso Actual

Con la información recopilada y los análisis realizados, se desarrollará un diagnóstico operacional del proceso:

- Capacidad de Producción de cada etapa: a partir de las mediciones de los tiempos, disponibilidad de equipos, dotación de personal, disponibilidad de recursos, entre otros.
- Identificación principales cuellos de botella: se analiza el porcentaje de utilización de cada etapa, los tiempos de espera y se definen qué etapas son las más críticas.
- Análisis de causa raíz: para los principales desperdicios se realizará un análisis de causa raíz, para poder fundamentar las propuestas de mejoras. Lo anterior se realizará mediante las siguientes metodologías (Diagrama Ishikawa, 5 porqués).

5.3 Diseño de Mejoras Propuestas

De acuerdo con lo que arroje los análisis de causa raíz, se propondrán acciones para remediar las principales problemáticas, Las acciones tendrán como focos principales:

- Cumplir con la normativa de inspección y testeo de cilindros.
- Reducción de acumulación de inventario de cilindros en cada etapa (WIP).
- Reducir desperdicios asociados a la disminución de tiempos de espera, transporte de activos, movimientos de insumos, disponibilidad de insumos, flujo de layout.
- Estandarización del proceso, para disminuir la variabilidad.
- Fomentar el orden del taller y optimizar los espacios.

5.4 Clasificación de mejoras propuestas

Definidas las mejoras, se enlistarán los recursos requeridos para su implementación:

- Factibilidad técnica y operacional de las propuestas.
- Definición de área responsable.
- Capacidades requeridas para la implementación.
- Recursos requeridos, si se debe realizar inversión en equipos o en mano de obra.
- Tiempo estimado de implementación.
- Impacto en el aumento de capacidad de mantenimiento del taller.

La finalidad de la clasificación es poder brindar datos con fundamento sólido para la toma de decisiones de la Gerencia de Operaciones, para alcanzar excelencia operacional en el Taller Test Shop.

Con esta información basada en mediciones y en la participación o aporte de cada parte involucrada (jefe del taller, supervisores y operadores) servirá para promover la cultura de la importancia de la estandarización de los procesos y de su continua mejora, creando nuevos agentes de cambios para obtener mayor beneficio como compañía.

6 Estado del Arte

Se realizó una revisión de la literatura para definir conceptos, metodologías y criterios que han sido utilizados en la industria para hacer los procesos más eficientes, lo anterior sirve para levantar antecedentes que sean relacionables a los procesos industriales de mantenimiento y permitan sustentar la metodología que se propone para el desarrollo de esta tesina.

Mejorar la eficiencia de producción ha sido una meta vital para la industria manufacturera de gases comprimidos (Ker, Mani Shrestha, Wang, & Lee, 2014). El uso de la Metodología Lean en la industria significa optimizar los recursos y minimizar los desperdicios, el concepto Lean es introducido en la industria por la compañía japonesa Toyota y sus principios se basan en especificar el valor del producto o servicio de acuerdo a la demanda del consumidor final y al flujo del proceso productivo (Deshmukh, Gangele, Kumar Gope, & Dewangan, 2022).

Para eliminar o minimizar los desperdicios, primero se deben identificar y categorizar de acuerdo a sus causas. Los desperdicios se pueden clasificar en: sobreproducción, tiempos de espera, transporte, reprocesos, inventario excesivo, defectos, movimientos innecesarios (Kumar, Shahzeb, Srivastava, Akhtar, & Kumar Yadav, 2022).

Algunas herramientas para aplicar Lean son: Value Stream Mapping, one piece flow, 5S, quick changeover, cellular strategy, total productive maintenance, kanban. Con estas herramientas se aumenta la calidad del producto o servicio, se disminuyen los costos y se mejoran los tiempos de entrega (Haider, 2015).

6.1 Rol del cilindro como activo y su impacto en el servicio

En la industria de gases industriales, el cilindro es un activo retornable que habilita el servicio principal, su disponibilidad condiciona la continuidad operacional y la respuesta a la demanda. El mantenimiento de cilindros es un proceso estratégico ya que permite aprovechar de forma óptima el activo y continuar o incrementar los beneficios, la importancia de este proceso radica en que impacta directamente en la productividad y el nivel de servicio que se entrega.

La vida útil de los cilindros para envasar gases comprimidos puede extenderse considerablemente si se realizan las inspecciones y mantenciones requeridas. La inspección y testeo de cilindros ha sido un requerimiento legal para las compañías del rubro,

ya que debe asegurar la aplicación de un programa de integridad mecánica de los cilindros en caso de un eventual incidente (EIGA, 2019).

6.2 Caracterización del proceso en el Test Shop

El proceso del Taller Test Shop presenta características propias de un sistema Job Shop. Un Job Shop se describe como un entorno de manufactura de bajo volumen y alta variedad, que requiere mano de obra versátil y capacidad de adaptación del proceso para procesar los distintos tipos de productos (Haider, 2015). En este tipo de entornos, los flujos suelen ser discontinuos, con acumulación de inventario en proceso, tiempos de espera y dependencia de la disponibilidad de equipos insumos y personal (Haider, 2015).

El concepto de Job shop resulta adecuada ya que no todos los cilindros siguen la misma secuencia de procesamiento. Dependiendo de su condición pueden requerir: venteo, retiro de válvula, inspección interna, granallado, prueba hidroestática, lavado, secado, pintura o reemplazo de válvula, lo que genera rutas múltiples y tiempos de procesamiento variables. Analizar el proceso del Test Shop como Job Shop permitirá comprender las causas de la variabilidad, los cuellos de botella y la acumulación de trabajo en proceso, se describirá la naturaleza del sistema, pero no proporcionará herramientas directas para reducir o eliminar los desperdicios.

6.3 Cilindros: Materialidad, componentes críticos y modos de falla

Los cilindros de gases comprimidos son envases metálicos diseñados para soportar altas presiones, típicamente son fabricados en acero al carbono o en aluminio (EIGA, 2019). Estos pueden tener distintas capacidades dependiendo de la aplicación (4 a 52 Litros). La inspección y mantenimiento de cilindros se realiza en base a sus componentes críticos, en la tabla 1 se detallan las posibles fallas que se suele identificar en este tipo de activo:

Tabla 1: Componentes críticos y fallas posibles cilindros, Fuente: (NCh 2247, 1995)

COMPONENTES CRÍTICOS	FALLAS POSIBLES
Manto y Base	Abolladuras, corrosión, daños por soldadura al arco
Gollete y Rosca	Fisuras y filtraciones
Válvulas	Fisuras y daños varios
Parte interna del cilindro	Contaminación
Sistema de identificación	Daños en el manto que borra los datos del cilindro

Si se logra levantar la información sobre los tipos de fallas más recurrentes en los cilindros que procesa el Test Shop, se podrán identificar qué etapa del proceso Test Shop resulta más significativa a la hora de implementar mejoras.

6.4 Marco Normativo Chileno para inspección y prueba de cilindros

El mantenimiento de cilindros de gases comprimidos se encuentra condicionado por exigencias normativas orientadas a asegurar la integridad mecánica del activo y la seguridad de la operación. En Chile, estas exigencias establecen criterios de inspección periódica y métodos de ensayo para comprobar que el activo puede seguir en servicio.

Analizar el marco normativo que rige a esta actividad permite distinguir entre actividades que constituyen un requisito indispensable para la seguridad y aquellas que corresponden a etapas complementarias, esto servirá para definir las etapas que tendrán mayor significancia en la habilitación del cilindro.

6.4.1 Inspección periódica de Cilindros de Acero

La NCh 2244 establece lineamientos técnicos para la inspección y realización de ensayos periódicos de cilindros de acero para gases comprimido. Desde la fabricación, los cilindros deben someterse a una inspección completa cada 5 años mínimo, dependiendo del gas.

La norma señala que se debe realizar un ensayo hidrostático bajo las siguientes condiciones:

- Después de un tratamiento térmico.
- Pérdida de peso mayor o igual a 5%.

6.4.2 Método de ensayo hidrostático por expansión volumétrica

La NCH 2247 establece los requisitos para el ensayo de presión de cilindros de gases comprimidos, mediante una camisa de agua. Se determina la expansión volumétrica total y la expansión volumétrica permanente, también se determina la expansión elástica, parámetro que está directamente relacionado con el espesor de pared promedio del cilindro. El ensayo consiste en introducir el cilindro en un recipiente lleno de agua, el cilindro debe estar sumergido en agua. Luego mediante una bomba de agua, se aumenta la presión al interior del cilindro hasta $\frac{5}{3}$ de la presión de trabajo. Cuando el cilindro se deforma, hay un desplazamiento de agua en el exterior del cilindro, el cuál es medido con buretas.

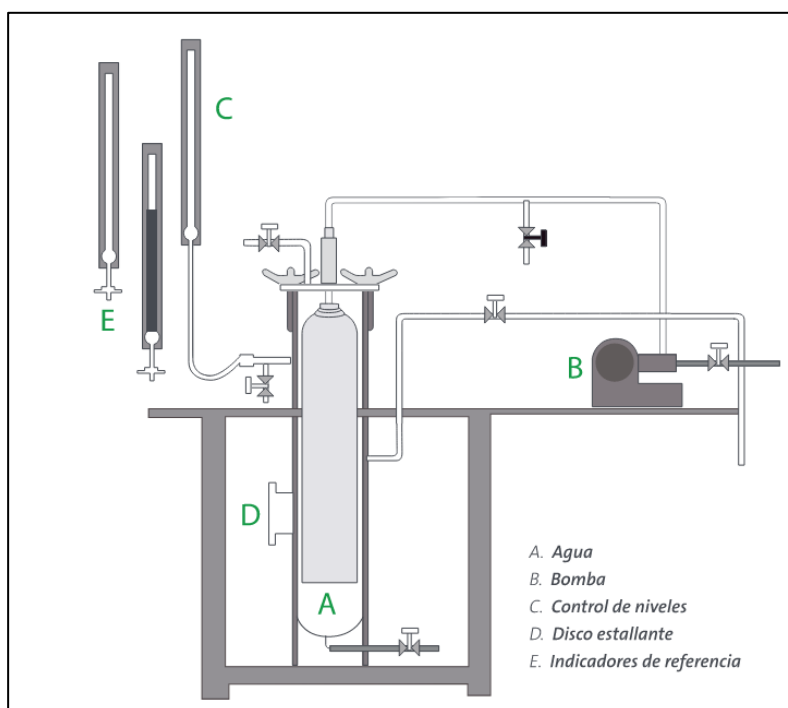


Figura 2: Diagrama de prueba hidrostática, Fuente: (Indura A. P., 2025)

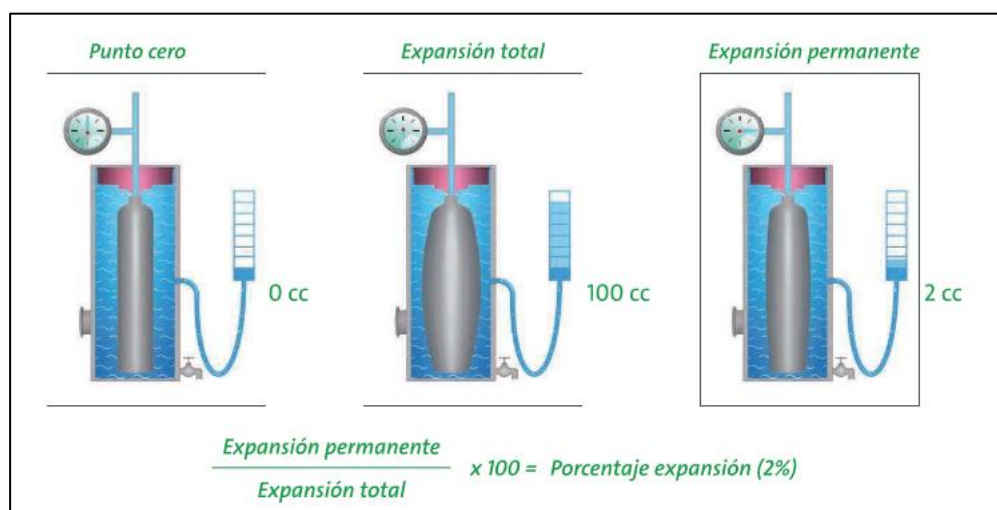


Figura 3: Esquema expansión volumétrica, Fuente: (Indura A. P., 2025)

La prueba hidrostática constituye una etapa crítica y mandatoria del proceso de mantenimiento de cilindros y será analizada en detalle para corroborar los datos de producción del taller.

6.5 Aplicación de metodología Lean

La metodología Lean se enfoca en reducir costos y tiempos de proceso, mediante la identificación de actividades que no dan valor al producto o servicio final, disminuyendo o eliminando los desperdicios identificados (Ker, Mani Shrestha, Wang, & Lee, 2014).

Su aplicación resulta especialmente útil en entornos donde existen tiempos de espera, movimientos innecesarios, transporte excesivo, reprocesos, acumulación de inventarios, desorden y baja sincronización entre etapas. El Taller Test Shop es un entorno que actualmente tiene estas características, por lo cual es una excelente oportunidad de analizar el proceso aplicando esta metodología para diagnosticar desperdicios y proponer mejoras para maximizar el valor entregado al cliente.

6.5.1 Principios Lean

La metodología Lean tiene principios que aseguran su correcta implementación (Womack & Jones, 2003)

- Valor: La satisfacción del cliente es el objetivo principal, cada cliente asigna un valor al producto o servicio que se le entrega. Es de suma importancia entender cómo valora el cliente el producto o servicio entregado.
- Mapeo de la cadena de valor: Identificar el flujo de etapas del proceso que dan valor al producto o servicio final. Se mapean los flujos de material e información requeridos para llevar a cabo las operaciones que permiten entregar el producto al cliente final.
- Flujo: Se debe asegurar la continuidad del flujo que recorre el producto hasta su estado terminado.
- Sistema Pull: El proceso no comenzará hasta que el cliente lo demande, esto disminuye la cantidad de sobre stock o realización de tareas que no terminan en el cliente final.
- Búsqueda de la perfección: Para hacer los procesos más eficientes, se debe asegurar mejorar continuamente los procesos actuales y hacerlos perfectos.

En el desarrollo de la tesina, estos valores permitirán evaluar el proceso del Taller Test Shop desde la perspectiva del flujo del proceso, la generación de valor y la identificación de actividades que agregan valor, tareas necesarias que no agregan valor y tareas que no agregan valor (desperdicios).

6.5.2 Herramientas Lean aplicables al Test Shop

Las herramientas Lean que resulta apropiadas en procesos con acumulación de inventario en proceso, secuencias variables, restricciones de layout y tiempos improductivos y descoordinación entre etapas; se describen a continuación:

- Value Stream Mapping (VSM): Es una herramienta gráfica que permite mapear flujos de material e información a medida que el producto recorre las distintas etapas del proceso productivo. Se utiliza primero elaborando el estado actual del proceso, y luego con la información levantada se elabora la versión futura, realizando las modificaciones requeridas para eliminar los desperdicios identificados (Ker, Mani Shrestha, Wang, & Lee, 2014).

Esta herramienta servirá para caracterizar el estado actual del proceso y a definir indicadores para luego diseñar un nuevo mapa que minimice o elimine los desperdicios.

- 5S y Gestión visual: Reducen tiempos de búsqueda, riesgos por desorden y pérdidas por movimiento, así como hacer de la operación un proceso seguro (Clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar, mantener/sostener) (Kumar, Shahzeb, Srivastava, Akhtar, & Kumar Yadav, 2022). Siempre realizar recorridos que permitan identificar desviaciones al orden que produzcan desperdicios.

En esta investigación se utilizarán estas herramientas para analizar el aprovechamiento del espacio en el layout, su organización y los desperdicios que se relacionan a movimientos y obstrucciones.

- Estandarización de los procesos: Cuando se defina la forma de operar que reduzca desperdicios, se deben actualizar los estándares de operación, realizando una actualización periódica.

Uno de los objetivos de esta tesina es concientizar a los principales actores del proceso, sobre la importancia de estandarizar los procesos y los beneficios que significa reducir la variabilidad de la ejecución de cada etapa del proceso.

7 Desarrollo del Tema

7.1 Descripción Proceso Actual Taller Test Shop

7.1.1 Clasificación Inicial Cilindros

Los cilindros que se reciben desde instalaciones de clientes, son clasificados por el equipo del Área de Sorting, quién mediante un análisis cualitativo clasifica si el cilindro está apto para el llenado. Las características revisadas son la fecha de la última prueba hidrostática, estado de válvula y del gollete, estado de pintura, y estado del manto.

Cuando el cilindro no cumple con lo anterior, debe pasar al área de mantenimiento y el activo pasa al almacén de SAP denominado OCYL¹. Los cilindros que pasan la inspección visual y están aptos para el llenado permanecen en el almacén de SAP denominado NRRT² (Cilindro Vacío sin clasificar) y posteriormente pasan a la planta de llenado.

7.1.2 Transporte de Cilindros OCYL

Los cilindros clasificados como OCYL, son transportados en pallets con capacidad de 18 cilindros, mediante una grúa horquilla, desde la planta de llenado hacia el Taller Test Shop.

7.1.3 Inspección Visual

El operador del Taller Test Shop inspecciona nuevamente el cilindro (abolladuras, quemaduras por arco, corrosión, estado válvula, signos de contaminación con otras sustancias, fecha última prueba hidrostática), clasificándolos de acuerdo con el tipo de mantenimiento que requieren: pintura, granallado y pintura, prueba hidrostática, reparación de filtraciones de gollete o cambio de válvula. Los que presentan signos de deformación irreparable en el manto son dados de baja, clasificándolos en el almacén de SAP denominado DCYL³.

¹ Denominación almacén SAP para Cilindro con prueba hidrostática vencida

² Denominación almacén SAP para Cilindro vacío apto para llenado

³ Denominación almacén en SAP para cilindro no apto para ser utilizado, se debe dar de baja.

7.1.4 Venteo de Cilindros

Todos los cilindros que siguen siendo idóneos para algún tipo de mantenimiento a realizar en el Taller Test Shop, pasan por el manifold de venteo, en donde se ventea de forma segura el gas residual que puedan contener.

7.1.5 Retiro de Válvula e Inspección Interna

Todos los cilindros que requieren cambio de válvula (válvula defectuosa, filtración de gollete, prueba hidrostática vencida, granallado o lavado) deben ser sometidos a una inspección interna, con la finalidad de detectar desperfectos al interior del cilindro. Esto se realiza mediante el uso de una luz que se introduce para poder observar el estado de las paredes y fondo del cilindro.

El retiro de las válvulas se realiza con una máquina neumática denominada Desvalvuladora, la cual aplica un torque en el sentido requerido para retirar o instalar las válvulas.

7.1.6 Granallado

Los cilindros que presentan alto nivel de corrosión o defectos en el manto deben ser granallados para verificar la magnitud del daño. El proceso de granallado consiste en una máquina que, mediante la colisión con partículas pequeñas, remueve la pintura y corrosión del manto del cilindro, para poder analizar el estado del material. Luego de esta etapa se clasifica nuevamente el cilindro y se determina si esta apto o no para seguir en el proceso de mantención o si se debe dar de baja.

7.1.7 Prueba Hidrostática

Para monitorear el estado del material del cilindro, periódicamente se debe realizar un ensayo de presión para asegurar que esté resistirá las altas presiones de operación de los gases comprimidos. La prueba consiste en someter al cilindro a cinco tercios de la máxima presión de operación, mediante el uso de agua, y verificar si el porcentaje de expansión del cilindro está dentro de los parámetros requeridos y relacionarlos con el espesor promedio del cilindro (NCh 2247, 1995).

7.1.8 Reemplazo de Válvula

A los cilindros que presenten defectos en la válvula o filtraciones en el gollete, se les debe retirar la válvula, realizar una inspección interna y luego instalar una nueva válvula.

7.1.9 Pintura

Los cilindros que requieren únicamente pintura se clasifican en SAP en el almacén MNT1⁴. Esta etapa consiste en pintar los cilindros del color requerido por el gas y válvula, e incorporar el logo de la compañía.

7.1.10 Lavado

Cuando los cilindros muestran signos de contaminación, se les retira la válvula y luego se pasan al proceso de lavado, en donde, se enjuagan con agua, durante varios ciclos hasta remover la contaminación.

7.1.11 Secado

Los cilindros que son sometidos a la prueba hidrostática o de lavado, pasan al proceso de secado, que consiste en aplicar aire caliente hasta lograr eliminar la humedad al interior del cilindro.

7.1.12 Clasificación NRRT

Una vez completado el mantenimiento del cilindro, es decir, cuando está apto para el proceso de llenado, se cambian su clasificación y pasa al almacén de SAP NRRT de cilindro vacío. Todos los cilindros NRRT son traspasados a la planta de llenado para el posterior envasado.

7.2 Definición Línea base

7.2.1 Entrevistas principales actores

Se realizó entrevistas al Jefe del Taller Test Shop, y a los operadores de cada estación. A cada persona se les hicieron las mismas preguntas, la idea es comparar sus respuestas de acuerdo con la perspectiva que tiene desde la función que ejercen, las preguntas son las siguientes:

- ¿Cuál es la principal limitación en el proceso que tu piensas contribuye a que el taller no pueda procesar más cilindros?

⁴ Denominación almacén SAP, para cilindro que requiere sólo pintura.

- Se realizan turnos de noche, sólo cuando la demanda lo requiere, normalmente es un turno/día. Se podría aumentar la producción si se habilita un turno adicional.
- El Taller Test Shop cuenta con poco espacio disponible para almacenar los cilindros que están siendo procesados por las distintas etapas. Hay un gran stock de cilindros OCYL dentro de la planta, adicionalmente hay cilindros a los cuales no se les puede remover la válvula, que utilizan una jaula completa.
- Hay un equipo calefactor de cilindros que es utilizado ocasionalmente que ocupa un gran espacio y reduce la cantidad de cilindros que se podrían almacenar en etapas intermedias del proceso.
- En el proceso de pintura, el proceso de remoción de etiquetas es un proceso lento, ya que debe realizarse con mucho cuidado de no dañar la superficie del producto. Hay una máquina cepilladora que realizaba este trabajo pero se encuentra averiada y ocupa un espacio considerable.
- Todos los entrevistados coincidieron también en que la clasificación de los cilindros que vienen en los pallets no es óptima, por lo que se produce un retrabajo de sortear los cilindros.
- ¿Qué parte del proceso crees tú que genera cuellos de botella?
 - Nuevamente todos los entrevistados coinciden en que el principal cuello de botella es la prueba hidrostática, el taller sólo cuenta con dos máquinas que procesan un cilindro cada 18 minutos.
- ¿Qué crees que podría mejorar sustancialmente la eficiencia de los procesos?

Las respuestas fueron variadas:

- Habilitar espacios adecuados para almacenaje de insumos, actualmente las válvulas, tulipas están en cajas de cartón apiladas, lo cual impide un fácil acceso a ellas, no se distingue que tipo de válvula es y se pierde mucho tiempo buscando la válvula que se requiere.
- Habilitar un espacio fuera del taller para el desarme y armado de bundles, al ser equipos de gran volumen con la distribución actual no es posible destinar un espacio adecuado para esta tarea.
- Adquirir otra máquina de pH que permita procesar más cilindros a la vez.

7.2.2 Recorrido y observación proceso

Se realizó recorridos por la planta con la finalidad de observar en terreno cuáles son las principales limitaciones que se observan a simple vista.

- El taller no cuenta con un área de almacenamiento con capacidad suficiente para guardar todos los insumos que se utilizan, se observa que hay muchas cajas de válvulas nuevas apiladas una sobre otras.
- Las estaciones con mesón no tienen organización: las herramientas utilizadas están sobre el mesón, se utilizan tarros de café para almacenar las letras con la que se estampan los cilindros.
- La estación de PH tienen un mejor orden y organización de herramientas e insumos.
- Hay estantes para almacenamiento, pero no cuentan con señalética que permita identificar que se guarda en el interior.
- La oficina del supervisor se encuentra justo en medio del área más transitada, que es donde se realiza la recepción de los cilindros y donde se distribuyen a las distintas áreas del proceso.
- No hay un área apta para realizar reuniones con el equipo de trabajo.
- Falta espacio para almacenar bundles en proceso.
- Las jaulas donde se almacenan cilindros no están destinadas para nada en específico, no cuentan con señalética que indique a que cilindros corresponden. Lo anterior provoca revisiones reiteradas del estado de los cilindros en sistema.
- Hay una gran cantidad de cilindros de CO₂, a la espera de instalarles la válvula, se trata de cilindros especiales y sus válvulas no se encuentran en stock, por lo que están siendo almacenados temporalmente mientras llegan las válvulas.
- Hay 4 estantes en donde se almacenan repuestos, principalmente válvulas, pero estos no están correctamente identificados y organizados.
- Hay dos lugares en los que hay lockers de almacenamiento de cosas personales de los operadores, uno de ellos está fuera de uso y se utiliza para guardar cosas que están fuera de uso o desechos.

7.2.3 Diagrama de flujo proceso

De acuerdo con la información levantada el proceso del Taller Test shop se resumen en los siguientes diagramas:

Primero se detalla el proceso de clasificación de los cilindros cuando llegan a la planta desde instalaciones de clientes, aquí se almacenan en una jaula especial para los cilindros OCYL.

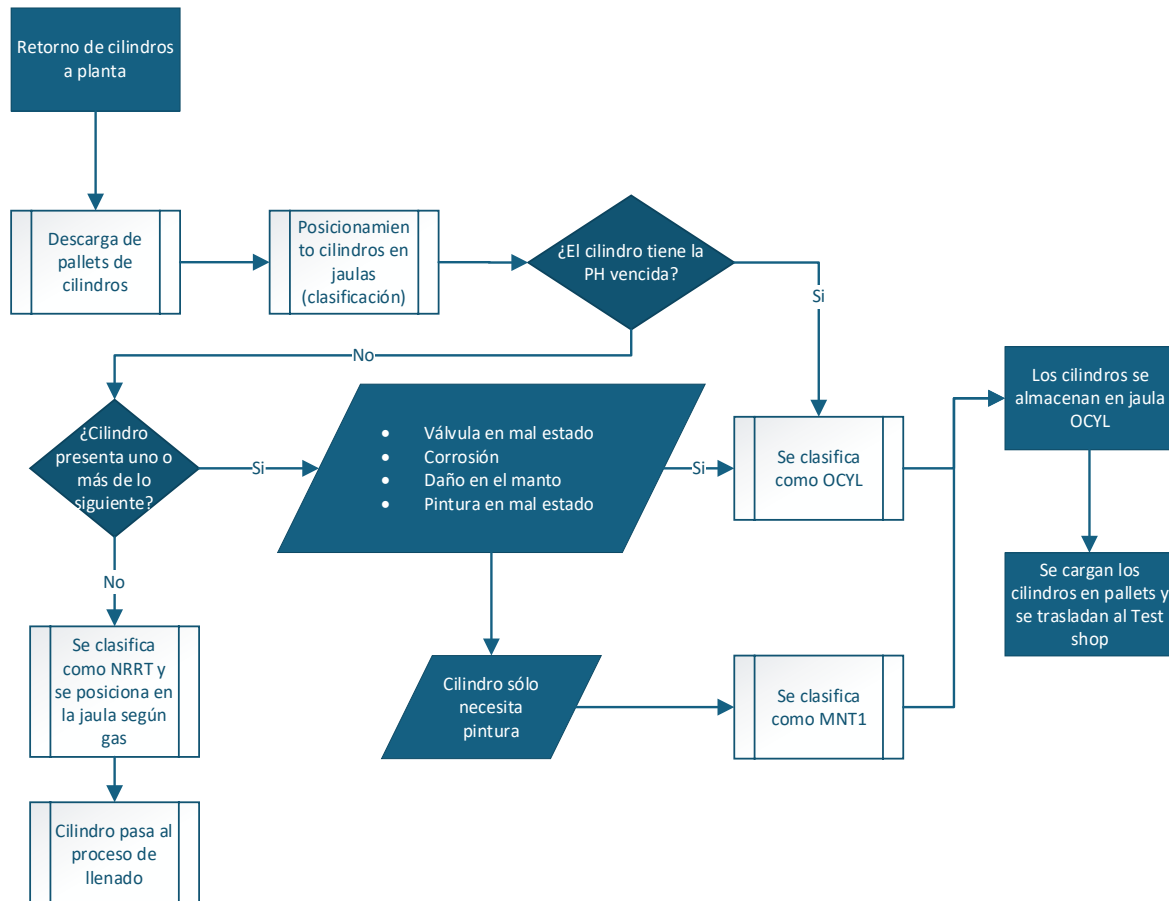


Figura 4: Retorno de cilindros a planta y clasificación inicial equipo Sorting

Fuente: Elaboración propia

Luego se detalla el proceso de clasificación inicial cuando los cilindros llegan al Test Shop, por lo general el ingreso de los cilindros se realiza por el acceso principal, pero en algunas ocasiones se utiliza el acceso del taller de pintura. Si este es el caso los cilindros para pintura se almacenan en las jaulas para pintar y el resto se llevan a la jaula de recepción inicial.

Este escenario no debería repetirse ya que puede generar retrabajos de reclasificación y confusión sobre la etapa de cada cilindro.

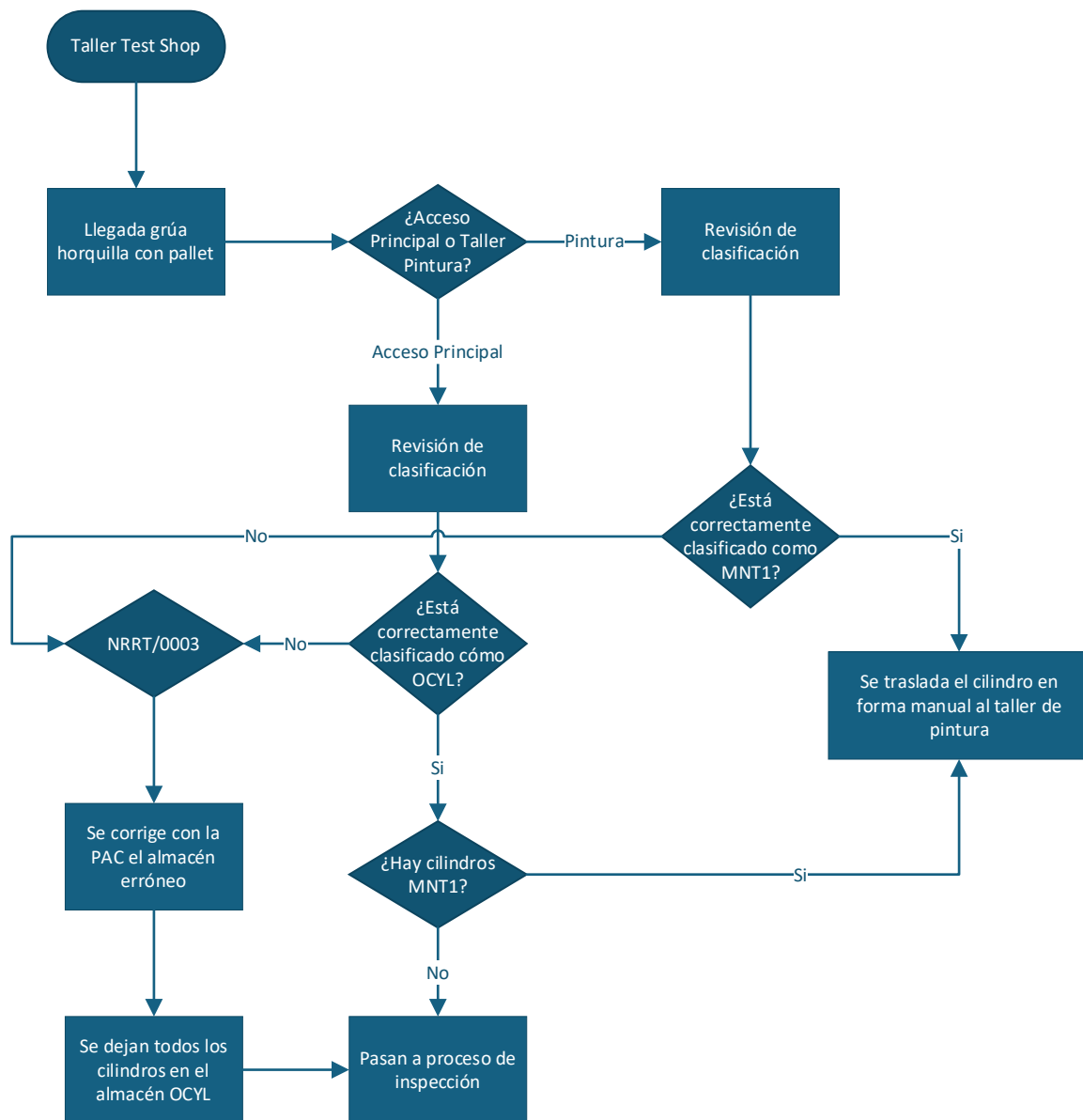


Figura 5: Revisión clasificación inicial Test Shop, Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detalla el proceso que recorre cada cilindro que ingresa al Test Shop. El acceso de los cilindros debe realizarse en un solo lugar para que el flujo del proceso siga sin interferencias o retrabajos.

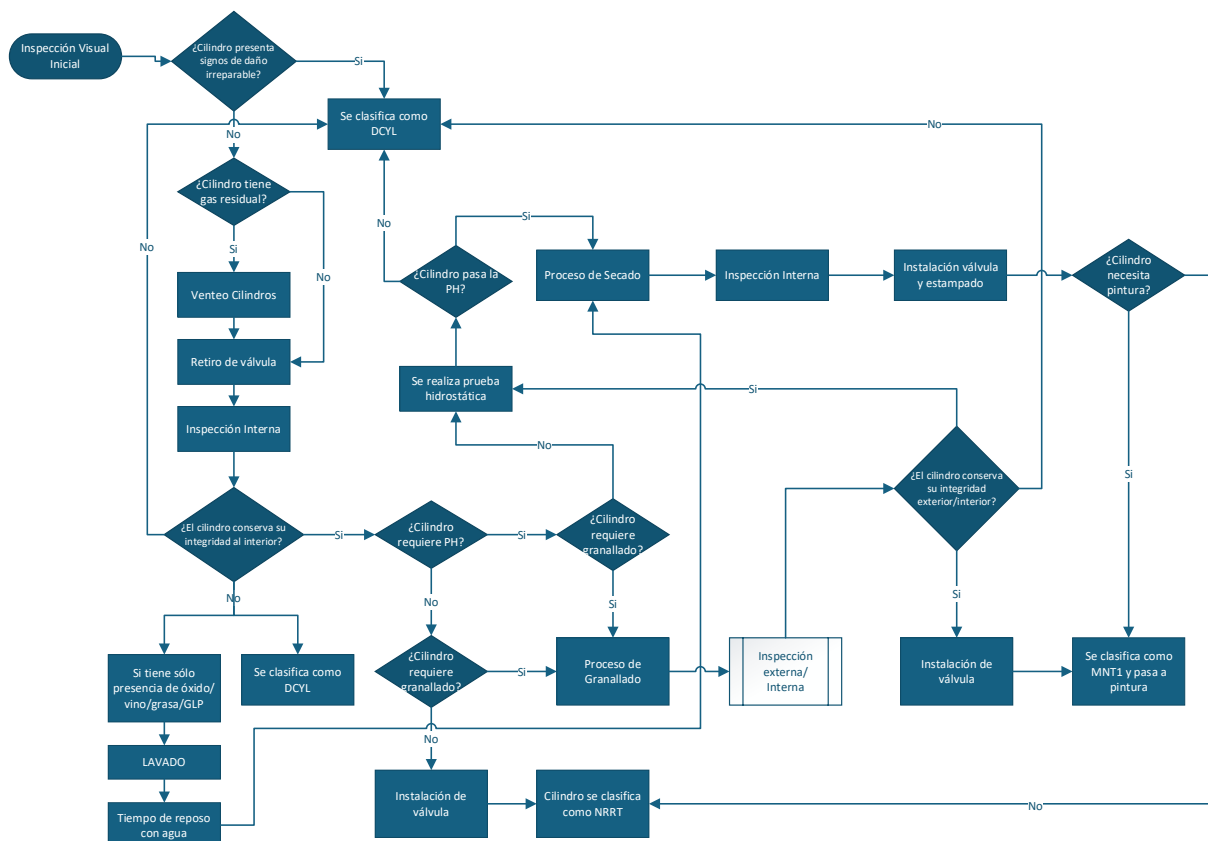


Figura 6: Diagrama de flujo Test Shop, Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Layout actual del proceso

Se realizó el levantamiento del layout actual del Taller Test Shop, para esto se realizó el recorrido de la planta detallando todos los equipos que hay en la planta, las jaulas de almacenamientos de cilindros, el almacenamiento de insumos, estaciones de trabajo de los operadores, oficina, etc. Cada estación o etapa del proceso se identificó con números correlativos.

En el taller se procesan cilindros grandes y cilindros portátiles medicinales, ambos tipos de cilindros son procesados en el Taller Test Shop, en el layout se identifican con colores las etapas que procesan cilindros portátiles y cilindros de mayor tamaño. Los colores definidos son los siguientes:

- Color amarillo: Estaciones comunes

- Color azul: estaciones para cilindros portátiles
- Color rojo: estaciones para cilindros de mayor tamaño.

A continuación, se detalla a qué etapa corresponde cada número:

Tabla 2: Descripción estaciones Taller Test Shop, Fuente: Elaboración propia

N°	ESTACIÓN	TAREAS REALIZADAS	EQUIPO PRINCIPAL/RECURSO
1	Recepción de cilindros OCYL	Zona de ingreso de cilindros correctamente clasificados como OCYL.	Jaula de recepción/traslado manual cilindros
2	Venteo	Liberación segura de gas residual	Manifold de venteo
3	Almacenamiento post-venteo / espera inspección	Espera previa a inspección interna	Jaulas de almacenamiento
4	Retiro válvula / Inspección Interna	Retiro de válvula e inspección del interior del cilindro, para cilindros portátiles se incluye el retiro de etiquetas y limpieza del cilindro.	Desvalvuladora
5a	Espera para granallado	Cilindros clasificados para granallado luego de inspección inicial	Jaula de almacenamiento
5b	Espera para PH	Cilindros clasificados para prueba hidrostática	Jaula de almacenamiento
6	Granallado	Remoción de pintura/corrosión para evaluación del manto	Máquina granalladora
6a	Espera cilindros granallados para PH	Cilindros recién granallados que deben pasar por la prueba hidrostática.	Jaula de almacenamiento
6b	Espera cilindros granallados para pintura.	Cilindros granallados para pintura y para instalación de válvula.	Jaula de almacenamiento
7	Prueba hidrostática	Ensayo de presión del cilindro	Máquinas PH
8	Secado	Eliminación de humedad posterior a PH o lavado	Secadores
9	Espera posterior a secado	Cilindros secos pendientes de inspección final	Jaula almacenamiento
10	Fase final	Instalación de válvula, estampado e inspección final	Desvalvuladora / herramientas
11a	Cilindros terminados	Cilindros liberados como aptos para llenado	Jaula NRRT
11b	Derivación a pintura	Cilindros terminados que requieren pintura antes de liberación	Jaula almacenamiento en sector pintura.
12	Preparación pintura	Retiro de etiquetas y preparación superficial	Herramientas manuales
13	Pintura	Aplicación de pintura según gas y estándar visual	Máquina de pintura
14-16	Secado / salida pintura	Secado y liberación posterior a pintura	Área de secado / jaula final

- La Jaula en donde se almacenan los cilindros que llegan al taller es pequeña, lo cual favorece que sea una estación de tránsito. No existe ninguna señalética que indique que esta jaula es donde llegan todos los cilindros OCYL aptos para ser procesados en el Taller Test Shop.
- Para realizar el venteo de cilindros hay que trasladar cada cilindro de forma manual una distancia aproximada de 6 metros hacia el manifold de venteo.
- Luego de ser venteados, los cilindros portátiles se almacenan en (3, azul) para ser sometidos a la inspección interna en la estación que se encuentra cercana al acceso a la planta. Los cilindros de mayor capacidad son procesados en la estación de inspección en otro lugar de la planta (3, rojo). Los cilindros a la espera de inspección deben ser trasladados de forma manual hacia las jaulas destinadas para esto, para los cilindros de mayor capacidad la estación (4) está a 27 metros de distancia. Para los cilindros portátiles la jaula se encuentra a 5 metros de la estación de inspección.
- Luego de retirar la válvula y realizar la inspección, cada cilindro se traslada de acuerdo con su clasificación: si requieren PH van al punto (5b). Si requiere granallado primero van hacia la jaula (5a).
- La estación de granallado cuenta con una jaula, en donde se almacenan los cilindros por procesar y los ya procesados. Esta jaula está cerca de la máquina granalladora. Los cilindros granallados que sean sometidos a PH deben volver hacia el sector de PH y los que no requieren PH se almacenan en (6b) hasta que se puedan procesar en la estación (10).
- Los cilindros para realizar PH (6a) y (5b) se encuentran cerca de la máquina de PH (7), y de la etapa de secado (8), el lugar donde se dejan los cilindros secos a la espera de inspección e instalación válvula (9) está justo en frente de la estación de inspección (10).
- Los cilindros inspeccionados a los cuáles se les instala la válvula y se estampan pasan a la jaula de cilindros terminados (11a) o bien a Pintura (11b), para esto último deben trasladarse 32 metros cada uno.

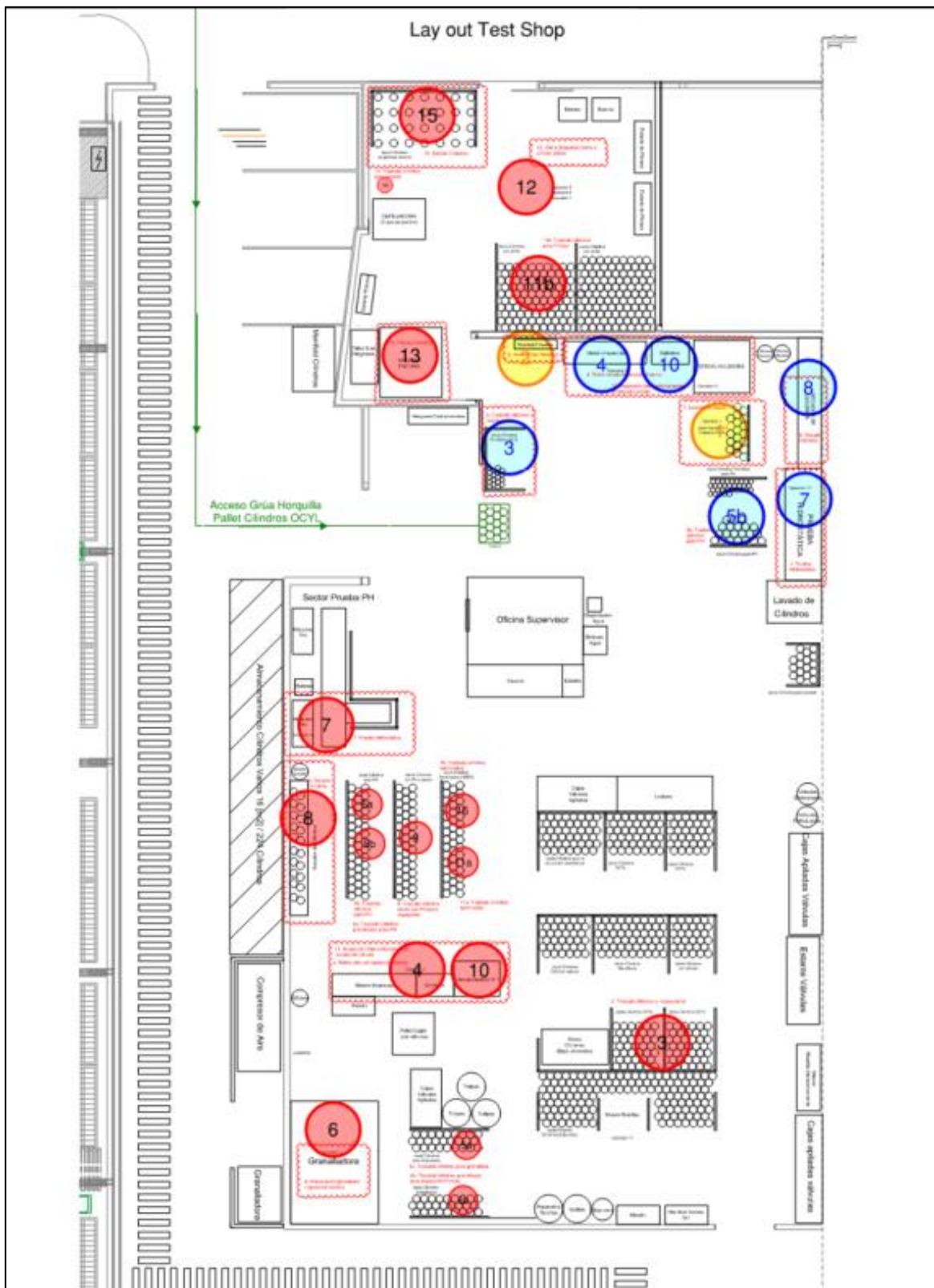


Figura 7: Lay out Test Shop, Fuente: Elaboración Propia

Los principales hallazgos sobre la distribución actual del proceso se detallan a continuación:

- a) **Secuencialidad de las estaciones:** La distribución física de las estaciones no sigue la secuencia operacional del proceso. Esto genera desplazamientos adicionales, retornos hacia etapas anteriores y acumulación de cilindros en zonas intermedias.
- b) **Distancias y transporte manual de cilindros:** Los cilindros se trasladan de forma manual por el operador desde las distintas estaciones, el traslado lo realiza un operador por un cilindro. Las distancias son en su mayoría acotadas, pero por ejemplo para llevar los cilindros hacia la zona de pintura hay que recorrer una larga distancia. Estos desplazamientos representan tiempo que no agrega valor al proceso y disminuye la disponibilidad del operador para ejecutar actividades productivas.
- c) **Jaulas de almacenamiento intermedio:** Son zonas que cuentan con el soporte necesario para dejar cilindros correctamente sujetos. Se trata de zonas de espera entre estaciones, pero ninguna cuenta con una definición clara sobre su uso. Esto genera situaciones en donde se pueden mezclar cilindros que deben ser sometidos a distintas etapas del proceso, por lo que los operadores deben inspeccionar nuevamente el estatus del cilindro para clasificarlo correctamente, lo que genera desperdicios.

En general el layout actual permite ejecutar todas las tareas requeridas por el proceso, pero presenta oportunidades de mejora asociadas a la reducción de traslados, definición de zonas de almacenamiento, gestión visual de jaulas, liberación de espacios ocupados por cilindros detenidos o por equipos fuera de uso.

7.2.5 Disponibilidad de equipos y recursos

- La dotación de personal del Test Shop se detalla a continuación:

Tabla 3: Listado dotación Test Shop, Fuente: Elaboración Propia

CARGO	FUNCIÓN	ETAPAS
Supervisor	Planificación de producción	Planificación
Operador 0	Operador grúa horquilla / Inspección inicial clasificación adecuada en sistema SAP.	(1)
Operador 1	Inspección Inicial	(1), (2), (3)
Operador 2	Retiro válvula, inspección interna, estampado, Instalación Válvula	(4), (5a), (5b), (10), (11a)
Operador 3	Granallado	(6), (6a), (6b)
Operador 4	Prueba hidrostática y secado	(7), (8), (9)

Operador 5	Pintura Cilindros	(11b), (12), (13), (14), (15), (16)
Operador 6	Pintura Cilindros	(11b), (12), (13), (14), (15), (16)
Operador 7	Ayudante Pintura Cilindros	(11b), (12), (13), (14), (15), (16)
Operador 8	Retiro etiquetas y limpieza externa, Retiro válvula, inspección interna, estampado, Instalación Válvula	(4), (10), (11) Cilindros Portátiles
Operador 9	Retiro etiquetas y limpieza externa, Retiro válvula, inspección interna, estampado, Instalación Válvula	(4), (10), (11) Cilindros Portátiles
Operador 10	Prueba hidrostática y secado	(7), (8) Cilindros Portátiles

- Sistema de turnos: Actualmente la planta cuenta con un turno por día y opera de lunes a viernes. De acuerdo con las necesidades de alta demanda ocasional, se realizan turnos de noche, los turnos de noche consideran la realización de pH con una estación y un operador.
- Equipos: Los activos principales con los que cuenta el taller y los más relevantes para el proceso de detallan a continuación:

Tabla 4: Equipos Principales Tes Shop, Fuente: Elaboración Propia

EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD PROCESAMIENTO [CILINDRO]
Máquina de PH	2	1
Secador de cilindros portátiles	1	15
Secador de Cilindros	1	20
Desvalvuladora	2	1
Máquina Granallado	1	1
Máquina Pintura	1	1
Manifold de venteo	2	2
Horno Cilindro (Uso ocasional)	1	8
Cepilladora (Fuera de servicio)	1	1

- Insumos: válvulas, tulipas, sifones, golillas, letras estampado, agua, energía, etiquetas CTN, herramientas manuales.

7.2.6 Procedimientos Operacionales

Se realizó una revisión de los procedimientos existentes, el taller cuenta con procedimientos para todas las etapas del proceso: Inspección inicial, Inspección interna, uso desvalvuladora, uso máquina pH, uso máquina granallado, uso secador, uso máquina de pintar, clasificación cilindros, entre otros.

Todos los procedimientos revisados tenían como fecha de actualización el año 2008, si bien los procesos no han cambiado mucho desde la fecha, es muy relevante poder realizar una revisión y actualización de estos.

Se debe realizar una revisión de los procedimientos una vez al año, incluyendo las distintas modificaciones que pudieran surgir.

7.3 Diagnóstico cuantitativo del proceso actual

Se reunirá y analizará la información disponible sobre la situación productiva actual del Taller Test Shop, obtenida a partir de distintas fuentes de datos. Entre ellas se incluyen los movimientos de material registrados en SAP y los registros manuales de producción elaborados por el personal del área.

De manera complementaria, se realizó un levantamiento en terreno, enfocado en la medición de los tiempos de permanencia de los cilindros en cada estación del proceso. Esto permitirá determinar las capacidades reales de procesamiento de las distintas etapas, así como identificar restricciones, cuellos de botella y oportunidades de mejora dentro del flujo operativo.

Este análisis representa una etapa fundamental de la presente tesina, ya que permite caracterizar y cuantificar el desempeño actual del Taller Test Shop. A partir de ello, será posible establecer una línea base que sirva como referencia para el diseño de mejoras orientadas al cumplimiento de los objetivos definidos en este trabajo.

7.3.1 Medición de tiempos por estación

Se realizó un levantamiento en terreno del tiempo que toman las distintas etapas del proceso, la finalidad era registrar el tiempo que se tarda en procesar un cilindro en cada etapa. Las mediciones realizadas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5: Capacidad de procesamiento de cada estación de proceso en un turno diario

Fuente: Elaboración Propia

DESCRIPCIÓN ETAPA	ESTACIÓN LAYOUT	DURACIÓN [MIN/CYL]	EQUIPOS	CANTIDAD EQUIPOS	CAPACIDAD [CYL/EQUIPO]	CAPACIDAD [CYL/ETAPA]
Inspección Inicial/Ventoeo	(1),(2),(3)	14	Manifold Ventoeo	1	1	90

Inspección Interna	(4),(5a),(5b)	11	Desvalvuladora	1	1	40
Granallado	(6),(6b)	15	Máquina Granallado	1	1	30
Prueba Hidrostática	(7)	18	Máquina PH	2	1	50
Secado	(8)	93	Secador	1	35	169
Fase final	(10),(11a)	11	Desvalvuladora	1	1	40
Preparación pintura	(12)	14		2	1	64
Pintura	(13)	5	Máquina Pintura	1	1	90
Secado Pintura	(15), (16)	11		1	10	409

De acuerdo con las mediciones realizadas, las estaciones que limitan la cantidad de cilindros a procesar son: la inspección inicial, inspección interna, las máquinas de PH, y el proceso de preparación de pintura.

7.3.2 Análisis de datos de producción SAP

Desde SAP es posible obtener los movimientos de material asociados al Taller Test Shop. Los materiales que registran movimientos en el taller están relacionados con distintas características de los cilindros:

- Capacidad volumétrica del cilindro.
- Materialidad de cilindro.
- Presión máxima de operación.
- Gas que almacenan en su interior.

En el taller se maneja una amplia variedad de códigos de material, por lo que el análisis de mejoras se enfocará en los códigos que presentan un mayor volumen de procesamiento.

El Taller Test Shop se identifica en SAP con el código de centro o planta 4727. Por su parte, la planta de llenado, donde se reciben los cilindros vacíos desde clientes corresponde al centro o planta 4703. Cada centro cuenta con distintos almacenes, tales como OCYL, NRRT y MNT1, lo que permite obtener el registro de los movimientos de material entre ambos centros y sus respectivos almacenes.

Cabe señalar que los datos disponibles en SAP no permiten distinguir la etapa específica del proceso en la que se encuentra o por la que ha transitado cada cilindro. Estos datos sólo registran las entradas y salidas de material desde determinados almacenes del taller, principalmente OCYL, NRRT y MNT1.

Los movimientos registrados los realizan los operadores del Taller Test Shop con la PACT, un dispositivo móvil que permite escanear el código del cilindro y realizar los movimientos en sistema.

Para comprender la cantidad de cilindros que se requiere procesar en el Taller Test Shop, se detalla la cantidad de cilindros que llegan al almacén OCYL del centro 4727:

Tabla 6: Cantidad anual de cilindros que llegan al Taller Test Shop para ser procesados (OCYL),
Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

OCYL 4727						
Tipo Cilindro	2021	2022	2023	2024	2025	2026
X50S	8.098	6.773	13.315	9.002	10.379	10.585
X5A	1.337	168	1.971	1.599	3.758	2.350
X44S	348	283	487	320	434	414
X47S	143	204	345	448	602	366
X40S	543	129	316	290	143	324
X43S	34	32	258	346	734	239
X5S	72	2	240	153	149	242
X52S	222	165	62	2	35	261
X3A	168	1		2	196	44
X30A	71	1	9	139	29	236
11X50S					105	56
Total general	11.036	7.758	17.003	12.301	16.564	15.117

Como se observa en la tabla, la mayor proporción de cilindros que requieren ser procesados en el Taller Test Shop corresponde a cilindros de acero X50S, con una capacidad de 50 L. En segundo lugar, se encuentran los cilindros portátiles de aluminio para oxígeno medicinal, con una capacidad de 5 L.

Durante el año calendario 2025, ingresaron al taller 16.564 cilindros para ser procesados y acondicionados, con el objetivo de dejarlos aptos para el servicio.

De enero a julio del 2026, han ingresado al taller como OCYL 15.117 cilindros, la mayoría siguen siendo cilindros de acero de 50 L y cilindros de aluminio de 5 L.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de cilindros que ingresan al Taller Test Shop y que requieren ser procesados mediante pintura en el almacén MNT1:

Tabla 7: Cantidad anual de cilindros que llegan al taller para proceso de pintura (MNT1),
Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

4727 MNT1					
Tipo Cilindro	2022	2023	2024	2025	2026
X50S	1.826	10.206	9.830	8.735	8.837
X44S	112	248	321	200	353
X47S	44	110	378	309	216
X43S	19	139	136	415	153
X40S	17	88	263	117	278
X5A	3	6	51	284	4
X52S	15	6	3	25	20
X5S		9		10	
X30A				3	4
X3A				2	
Total general	2.036	10.812	10.982	10.100	9.866

Como se mencionó anteriormente el almacén MNT1 corresponden a los cilindros que sólo requieren pintura. Este almacén contempla en su mayoría cilindros de acero de distintos volúmenes, principalmente cilindros de 50 L, también se realiza pintura a cilindros de aluminio, pero en menor medida.

Para contrastar la información presentada, a continuación, se detalla la cantidad de cilindros procesados por el Taller, los cuales fueron acondicionados y clasificados como aptos para el servicio, para luego ser trasladados al almacén NRRT:

Tabla 8: Cantidad anual de cilindros aptos para el llenado que produce el Taller Test Shop (NRRT),
Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

NRRT 4703						
Tipo Cilindro	2021	2022	2023	2024	2025	2026
X50S	6.028	6.278	10.576	9.923	9.572	8.853
X5A	711	141	2.018	1.128	3.093	884
X44S	190	239	248	362	192	370
X43S	35	50	210	296	542	296
X47S	106	108	184	307	348	236
X40S	250	57	143	269	127	215
X5S	20	1	231	94	125	158
X3A	246	1	62	16	142	114

X52S	71	62	13	4	10	93
11X50S					132	19
X30A	23	1		77	14	10
Total general	7.680	6.938	13.685	12.476	14.297	11.248

De acuerdo con las tablas presentadas, se evidencia que el Taller Test Shop presenta una demanda considerable, no sólo asociada a cilindros que requieren prueba hidrostática, sino también a un alto volumen de cilindros que deben ser sometidos al proceso de pintura.

A partir de los datos analizados, se observa que la cantidad de cilindros que ingresan al taller es significativamente mayor que la cantidad de cilindros que egresan como aptos para el proceso de llenado. Asimismo, se confirma que un volumen importante de cilindros retorna al taller por requerimientos de pintura, lo que posiciona a esta estación como uno de los procesos principales dentro del flujo operativo y como una etapa con alta incidencia en los niveles de producción del Taller Test Shop.

De los registros de SAP se puede obtener los movimientos diarios de cilindros que hay en el test shop, lo anterior se resume en los gráficos:

- **Cantidad de Cilindros diarios que ingresan como OCYL al Taller Test Shop**

Según la información de la figura 8, se determina que la cantidad más frecuente de cilindros que llega al Taller Test Shop para ser procesada en el periodo de Julio 2025 a Julio 2026 fue entre 1 y 53 cilindros al día. De igual forma se observa que hubo ocasiones durante este periodo que ingresaron al Test Shop más de 300 cilindros en un día. El valor promedio de cilindros diarios que llegaron al test shop fue de 85 cilindros.

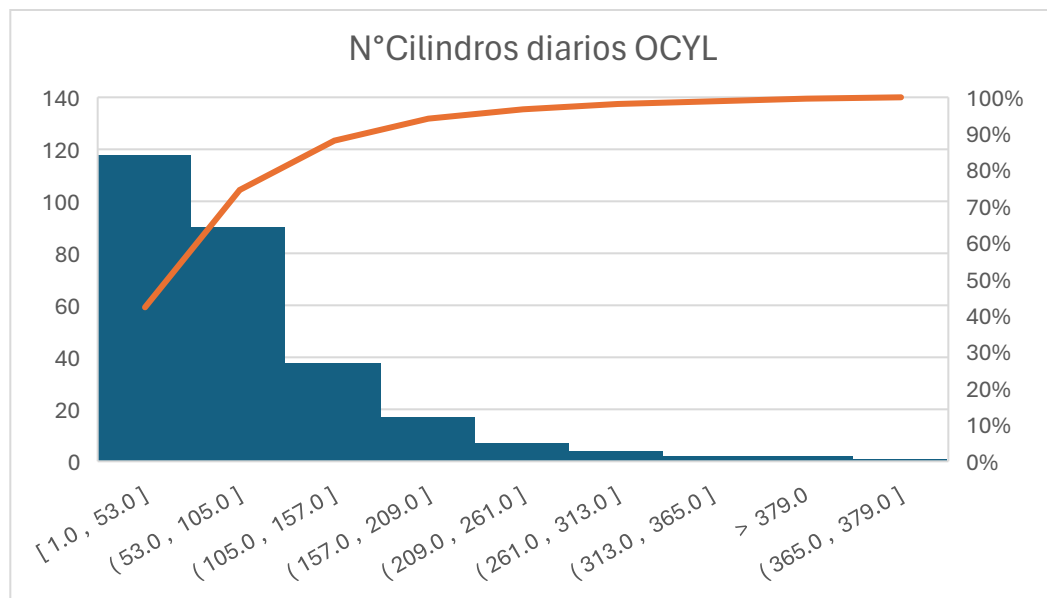


Figura 8: Cantidad de cilindros OCYL que ingresan diariamente al Taller Test Shop,
Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

- **Cantidad de cilindros diarios que salen del Taller Test Shop como NRRT**

Los datos de la figura 9 corresponden al histograma de la cantidad de cilindros que salieron como NRRT del Test Shop, es decir, la cantidad de cilindros que se acondicionaron en el taller para su posterior llenado. Como se observa en el histograma, durante el periodo Julio 2025 a Julio 2026 la producción del Taller Test Shop fue más frecuentemente de un rango de 45 a 67 cilindros. Adicionalmente se observa que durante el último año el Taller tuvo una producción máxima de 282 cilindros en un día, de acuerdo a las capacidades de cada estación del proceso no sería posible producir esa cantidad, esto se puede explicar a que quizás en esa ocasiones se trabajó con dos turnos o a que quedaron cilindros terminados almacenados en la planta por un periodo de tiempo superior. El promedio anual diario fue de 73 cilindros.

Lo anterior indica que el proceso tiene una alta variabilidad, la cuál debe ser prevista por el Supervisor del Test Shop en conjunto con el equipo de planificación, con quienes se realiza una reunión semanal para acordar qué cilindros se deben acondicionar dependiendo de la demanda y los stocks de seguridad, considerando también el stock de cilindros disponibles para realizar mantenimiento.

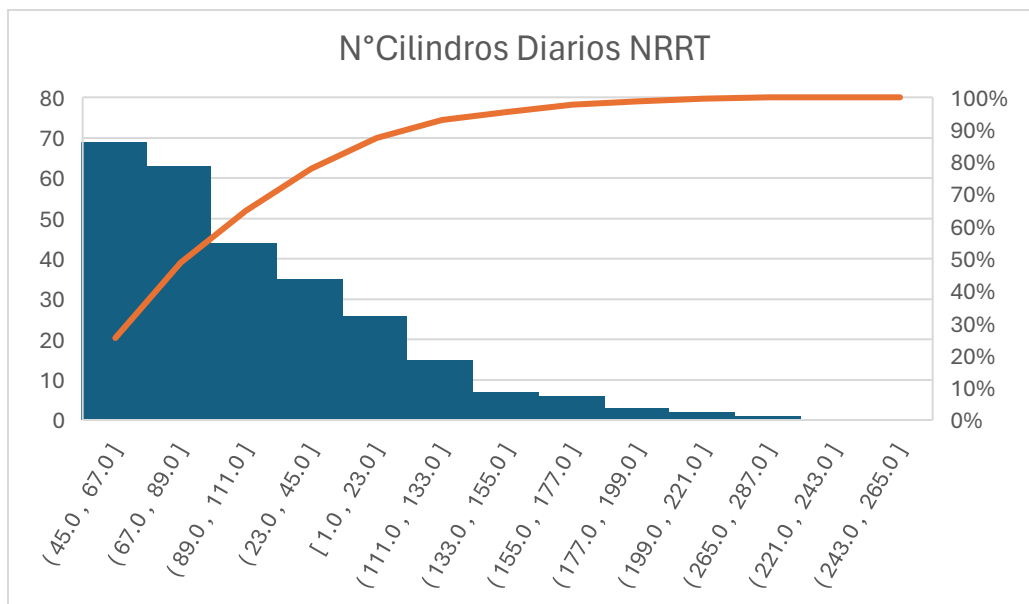


Figura 9: Cantidad Cilindros NRRT que salen del Taller Test Shop
Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

- **Cantidad de cilindros diarios que ingresan al Taler Test Shop como MNT1**

Los datos de SAP indican que la cantidad de cilindros para procesar en el taller de pintura durante el periodo Julio 2025 a Julio 2026 estuvo en un rango más frecuente de 31 a 61 cilindros por día. Siendo la máxima cantidad de cilindros que ingresó para pintura de 656 cilindros en un día. El promedio diario durante el año fue de 60 cilindros.

Nuevamente estos valores altos valores máximos corresponden a ajustes de inventario, para procesar esa alta cantidad se realizan turnos extraordinarios y así poder dar respuesta a estos episodios de alta demanda.

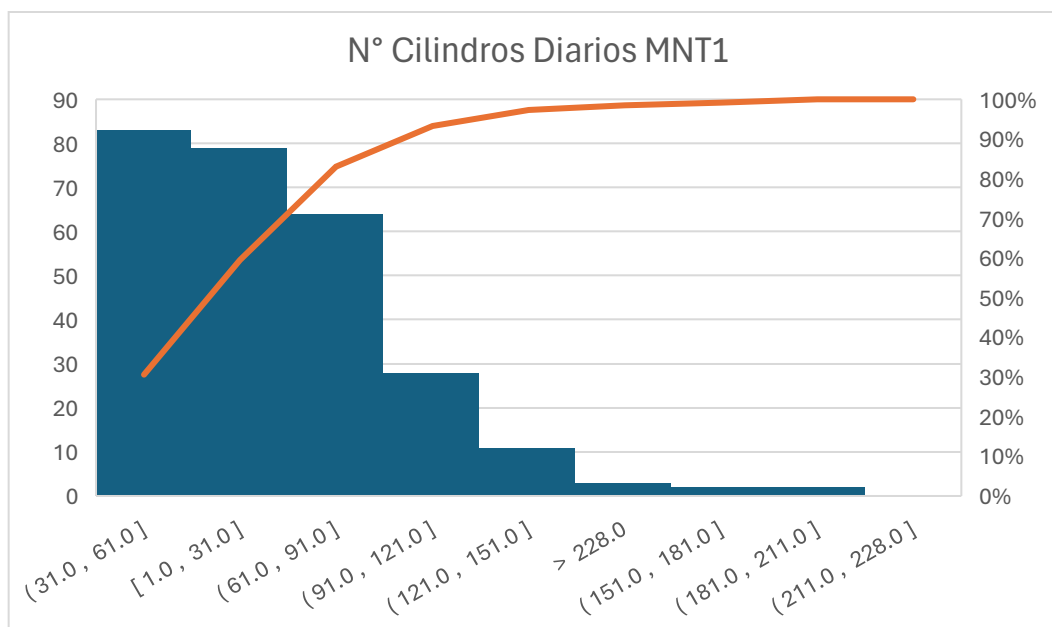


Figura 10: Cantidad de cilindros que llegan al Taller Test Shop como MNT1

Fuente: Reporte SAP ERP MB51, (Air Products, 2026)

7.3.3 Datos de Producción Registro Manual

En cada estación de trabajo del Taller Test Shop, se registran los cilindros procesados de forma manual, estos registros son luego procesados por el jefe de la planta, quién procesa los registros en papel y los traspasa a una planilla excel. En la planilla se detalla cuántos cilindros pasaron por PH, cambio de válvula, granallado y pintura, no se registra información sobre el código del material y los mantenimientos a los que fue sometido cada cilindro.

El registro de Excel se está realizando desde julio del 2025, a continuación, se presentan los datos que existen desde Julio 2025 a Julio 2026:

Tabla 9: Registro producción diaria por etapa del proceso,

Fuente: Planilla de registro producción Taller Test Shop (Lara, 2025)

ESTADÍSTICA	CAMBIO VÁLVULA	GRANALLADO	PH	PINTURA
Promedio	49	14	50	82
Máximo	162	36	112	166
Mínimo	15	4	13	0
Moda	42	15	62	58
N° Observaciones	218	75	232	238

Los datos obtenidos sirven para comparar las capacidades teóricas de cada estación, así como la capacidad real de procesamiento de cada estación.

7.3.4 Value Stream Map

Se definieron las principales etapas del proceso que se lleva a cabo en el Taller Test Shop, se identificaron los tiempos y las capacidades de procesamiento de cada etapa. Como el proceso del Taller se clasifica como Job Shop, es decir, no todos los cilindros tienen la misma ruta de mantención, se analizaron las dos principales rutas que tienen los cilindros: Prueba de PH y proceso de pintura, para esto se elaboraron dos flujos de Value Stream Mapping.

La separación de ambas rutas evita asumir que todos los cilindros recorren la totalidad de las estaciones del taller y permite identificar de forma más específicas los tiempos y recursos correspondientes a cada etapa.

Los tiempos incluidos dentro de las cajas de proceso corresponden al tiempo efectivo de ejecución de cada actividad, sin considerar el traslado del cilindro entre estaciones. Por su parte, los tiempos de transporte se presentan de forma separada en la línea de tiempo inferior. Esta distinción explica las diferencias entre los tiempos unitarios representados en los VSM y los valores informados previamente en la tabla general de medición, dado que esta última considera conjuntamente la ejecución de la actividad y los desplazamientos asociados.

- **Ruta de prueba hidrostática**

La primera ruta analizada corresponde a los cilindros que requieren prueba hidrostática. Esta ruta comprende la inspección inicial y venteo, el retiro de la válvula y la inspección interna, la prueba hidrostática, el secado y las actividades de fase final, que incluyen la instalación de válvula y la inspección necesaria para liberar el cilindro como apto para llenado.

Para la construcción del mapa se utilizó un lote de referencia de 50 cilindros, correspondiente a la demanda promedio diaria considerada para esta ruta. El VSM muestra el flujo físico del cilindro, los inventarios o acumulaciones entre estaciones, la secuencia de información entre Planificación PG, la supervisión del taller y la operación, así como los tiempos efectivos de procesamiento y traslado.

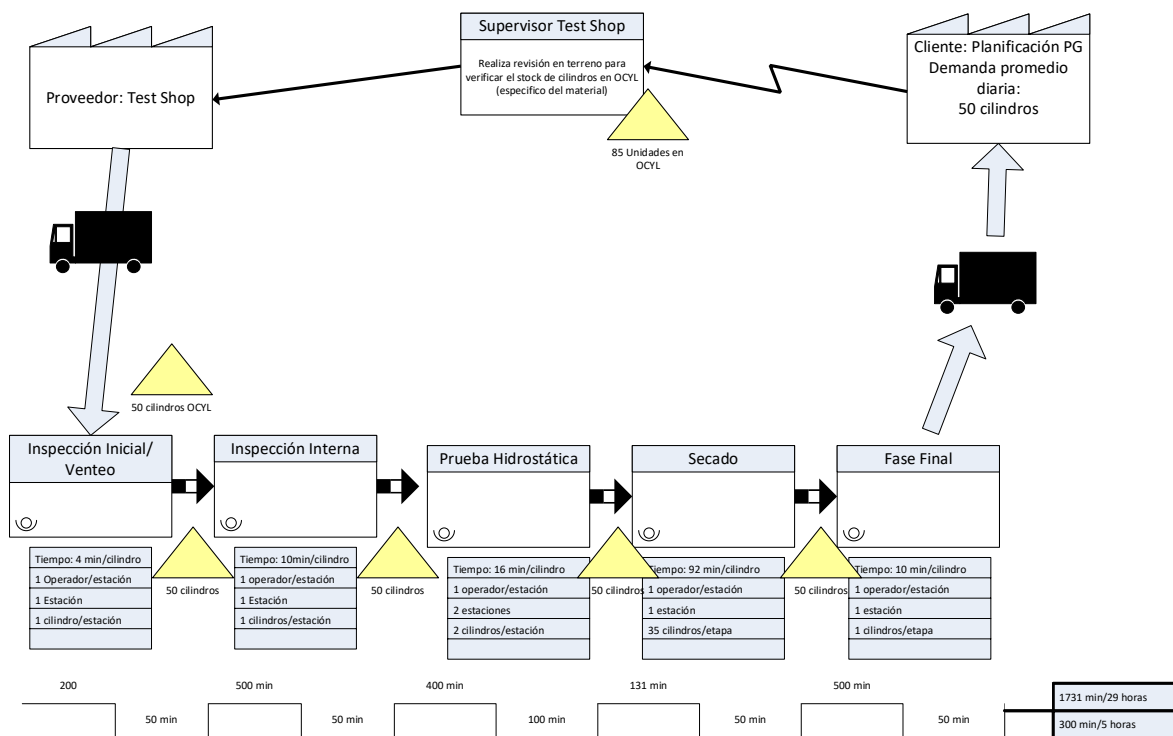


Figura 11: Value Stream Mapping estado actual ruta de prueba hidrostática,

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo acumulado asociado a las actividades del proceso alcanza 1.731 minutos, equivalentes aproximadamente a 29 horas de utilización de recursos. Adicionalmente, se identifican 300 minutos de transporte manual, equivalentes a cinco horas acumuladas para el lote de referencia.

En consecuencia, aproximadamente 14,8% del tiempo acumulado representado en esta ruta corresponde a desplazamientos que no modifican la condición física del cilindro.

El VSM permite observar que la mayor carga acumulada de trabajo se concentra en la inspección interna y en la fase final, con 500 minutos por lote en cada etapa. Ambas actividades dependen del uso de equipos desvalvuladores, los cuales se utilizan tanto para retirar la válvula al comienzo del proceso como para instalarla nuevamente antes de liberar el cilindro.

La prueba hidrostática también constituye una etapa crítica. El taller cuenta con dos equipos operados por una persona, con un tiempo aproximado de proceso por cilindro que condiciona la capacidad simultánea y la respuesta frente a períodos de mayor demanda.

La criticidad de esta etapa se relaciona no sólo con su capacidad, sino también con su carácter obligatorio para los cilindros que requieren renovar su inspección periódica.

El secado presenta el mayor tiempo de ciclo unitario, pero no necesariamente constituye la restricción de la ruta, debido a su capacidad para procesar simultáneamente 35 cilindros. Esto evidencia la importancia de no determinar el cuello de botella utilizando exclusivamente el tiempo unitario, sino de considerar también la cantidad de equipos, la capacidad simultánea, la disponibilidad del operador y la frecuencia con que los cilindros requieren pasar por cada estación.

El VSM de la ruta de prueba hidrostática evidencia que la principal oportunidad no consiste únicamente en reducir tiempos unitarios, sino en aumentar la capacidad y confiabilidad de los recursos críticos. El uso compartido de las desvalvuladoras entre la inspección interna y la fase final puede generar interferencias entre ambas actividades, mientras que la dependencia de los equipos de prueba hidrostática limita la resiliencia de una etapa obligatoria del proceso.

- **Ruta de Pintura**

La ruta analizada corresponde a los cilindros que requieren acondicionamiento de pintura. Esta familia de proceso comprende la inspección inicial, la preparación de la superficie, la aplicación de pintura y el secado posterior.

Para la construcción del mapa se utilizó un lote de referencia de 60 cilindros, correspondiente a la demanda promedio diaria registrada para el almacén MNT1. La ruta permite analizar por separado una familia de mantenimiento que representa una proporción relevante del flujo del Taller Test Shop y que presenta restricciones distintas de aquellas observadas en la ruta de prueba hidrostática.

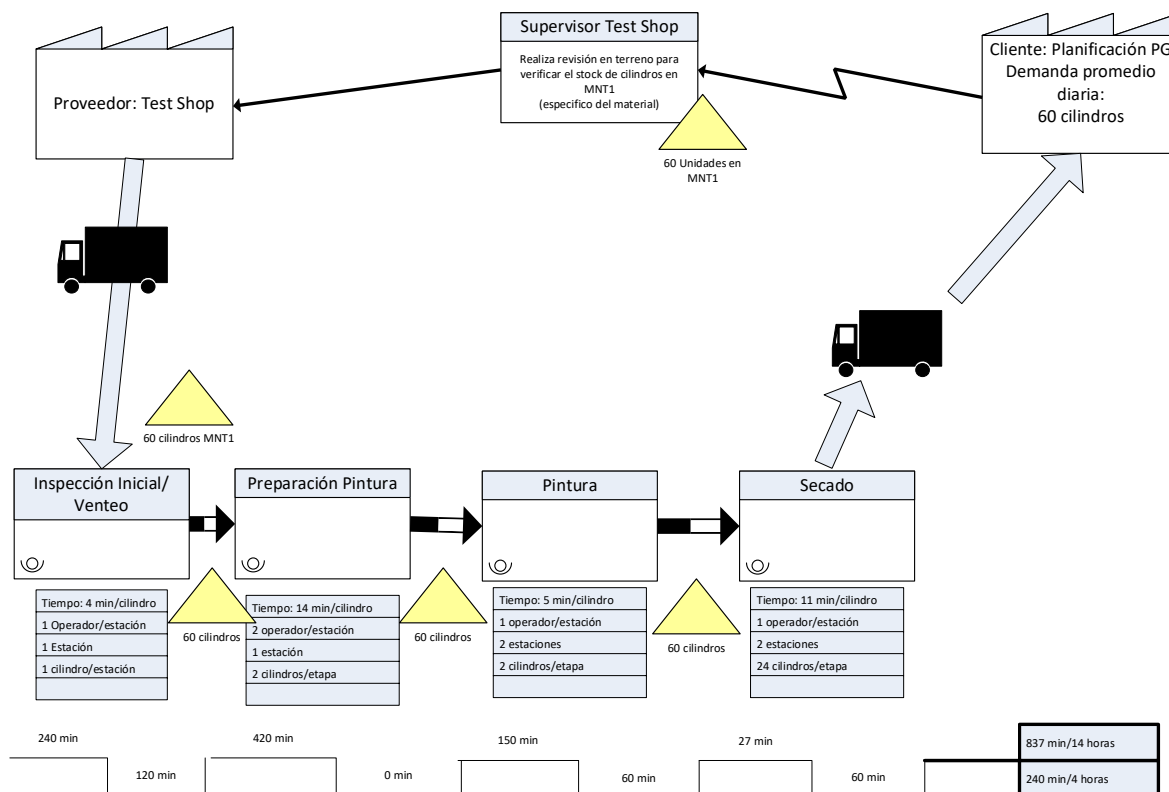


Figura 12: Value Stream Mapping estado actual ruta de pintura,
Fuente: Elaboración propia.

La preparación de pintura concentra la mayor carga de trabajo de la ruta, con 420 minutos acumulados para el lote de 60 cilindros. Esta actividad incluye la remoción manual de adhesivos y la preparación superficial del cilindro, tareas que actualmente requieren una intervención intensiva del operador.

La estación de pintura presenta un tiempo de ciclo menor y una capacidad superior a la etapa de preparación. Por esta razón, el desempeño de la ruta no se encuentra limitado principalmente por la aplicación de pintura, sino por las actividades efectuadas antes de que el cilindro ingrese a esa estación. Esta conclusión coincide con el diagnóstico, que identificó la remoción de adhesivos como una actividad lenta y una restricción de la preparación de pintura.

El proceso de secado presenta una capacidad simultánea elevada, por lo que su tiempo unitario no se traduce en una restricción equivalente.

El VSM de la ruta de pintura evidencia que la preparación superficial constituye la principal oportunidad de mejora de esta familia de proceso. La capacidad de pintura es superior a la capacidad de preparación, por lo que reducir el tiempo de remoción de adhesivos permitiría

balancear mejor ambas estaciones. Adicionalmente, el transporte manual representa aproximadamente 22,3% del tiempo total modelado, lo que sustenta la evaluación de equipos que permitan trasladar varios cilindros simultáneamente.

La elaboración de los VSM permitió establecer una línea base diferenciada para las principales rutas del Test Shop, identificar la incidencia del transporte manual y reconocer las estaciones que concentran la carga operacional. En la ruta PH se evidenció la criticidad de la prueba hidrostática y del uso compartido de las desvalvuladoras. En la ruta de pintura se identificó la preparación superficial como la etapa que limita el flujo hacia pintura. Ambos mapas también permitieron cuantificar el transporte como una actividad que no agrega valor y definir indicadores para evaluar posteriormente la efectividad de las mejoras propuestas.

7.3.5 Definición de indicadores

Para evaluar el desempeño actual del Taller Test Shop y medir posteriormente el impacto de las mejoras propuestas, se definieron indicadores operacionales asociados a productividad, capacidad de procesamiento, flujo de cilindros, utilización de recursos y trazabilidad de la información.

Estos indicadores buscan orientar el análisis hacia el aumento de la productividad del taller y la mejora en la disponibilidad de cilindros aptos para llenado. Para su definición, se consideraron las fuentes de información actualmente disponibles, tales como movimientos de material en SAP, registros manuales de producción, mediciones de tiempo en terreno y antecedentes levantados durante el diagnóstico operacional.

Los indicadores se organizaron en las categorías de producción, capacidad, flujo, trazabilidad y cumplimiento operacional, permitiendo relacionar cada métrica con los desperdicios y problemáticas identificadas, así como evaluar la efectividad de las mejoras propuestas.

La tabla 10 corresponde a aquellos indicadores que pueden calcularse a partir de la información actualmente disponible, como movimientos de material en SAP, registros manuales de producción y mediciones de tiempo realizadas en terreno. Estos indicadores permiten caracterizar el desempeño actual del proceso y establecer una línea base inicial. Para determinar el desempeño actual del proceso se utilizaron los valores promedio diarios de cada indicador, en base a estos valores se podrán definir los valores deseados de estos indicadores luego de aplicar las mejoras.

Tabla 10: Indicadores de desempeño proceso con información disponible,

Fuente: Elaboración propia

CLASIFICACIÓN	INDICADOR DIARIO	FÓRMULA / CRITERIO DE CÁLCULO	VALOR PROMEDIO 2026	FUENTE
Producción	Cilindros terminados NRRT	$\frac{\text{Cilindros NRRT}}{\text{día}}$	73	SAP
Demanda	Cilindros OCYL que llegan al taller	$\frac{\text{Cilindros OCYL}}{\text{día}}$	85	SAP
Demanda	Cilindros que ingresan al taller por pintura MNT1	$\frac{\text{Cilindros MNT1 in}}{\text{día}}$	60	SAP
Producción	Cilindros pintados (MNT1 out)	$\frac{\text{Cilindros MNT1 out}}{\text{día}}$	56	SAP
Flujo	Razón salida NRRT/entrada OCYL del taller	$\frac{\text{Cilindros Terminados (NRRT)}}{\text{Cilindros (OCYL)}}$	86%	SAP
Flujo	Razón salida MNT1/entrada MNT1 del taller	$\frac{\text{Cilindros Pintados (MNT1 out)}}{\text{Cilindros (MNT1 in)}}$	93%	SAP
Producción	Cilindros procesados PH	$\frac{\text{Cilindros PH}}{\text{día}}$	50	Registro manual
Producción	Cilindros procesados Pintura	$\frac{\text{Cilindros Pintados}}{\text{día}}$	82	Registro manual
Producción	Cilindros procesados Cambio válvula	$\frac{\text{Cilindros cambio válvula}}{\text{día}}$	49	Registro manual
Producción	Cilindros procesados granallado	$\frac{\text{Cilindros granallados}}{\text{día}}$	14	Registro manual
Producción	%Utilización PH	$\frac{\text{Cilindros PH}}{\text{Capacidad máx PH}}$	100%	Registro manual
Producción	% Utilización etapa Pintura	$\frac{\text{Cilindros Pintados}}{\text{Capacidad máx Pintura}}$	91%	Registro manual
Producción	%Utilización etapa preparación pintura	$\frac{\text{Cilindros Pintados}}{\text{Capacidad máx preparación pintura}}$	128%	Registro Manual
Producción	%Utilización máquina desvalvuladoras	$\frac{\text{Cilindros NRRT} * 2}{\text{Capacidad máx cambio válvula}}$	183%	SAP
Producción	%Utilización máquina granallado	$\frac{\text{Cilindros granallado}}{\text{Capacidad máx granallado}}$	47%	Registro manual

Como se mencionó anteriormente, las dos fuentes de datos principales (SAP y el registro manual por estación) no se pueden comparar directamente, ya que el registro manual retrata la capacidad de procesamiento de cada etapa, estos datos no tienen su equivalente sistemático en SAP. En el sistema SAP no existe una forma de registrar mediante el uso de la PACT el ciclo que recorre el cilindro dentro del taller, sino que sólo los movimientos generales de almacén, el cual no registra el tipo de mantenimiento específico al cuál fue sometido el cilindro.

A pesar de esta limitación con los datos disponibles, si será posible medir la efectividad de las mejoras que deban implementarse.

7.4 Identificación de desperdicios

A partir del levantamiento realizado en terreno y del análisis del flujo operativo del Taller Test Shop, fue posible identificar distintos tipos de desperdicios asociados al proceso productivo. Estos desperdicios corresponden a actividades o condiciones que no agregan valor directo al acondicionamiento de los cilindros, pero que generan impactos en la eficiencia operacional, tales como mayores tiempos de traslado, reprocesos, uso ineficiente del espacio, movimientos innecesarios y dificultades en la trazabilidad de la información.

7.4.1 Orden y Organización de Insumos

El taller requiere de un proceso de revisión de todos los insumos que allí se almacenan. Hay muchas cajas con válvulas que se distribuyen en el layout, lo cual entorpece el tránsito manual de los operadores con los cilindros. Las válvulas se pueden almacenar en la bodega de materiales de la planta con su respectivo código de material y realizar los retiros de stock según se requiera.

Se debe realizar una revisión de la utilidad de todas las cosas que están en los mesones de trabajo, ya que se pudo observar que hay cosas almacenadas en los estantes que no parecen ser necesarias. Se podría modernizar la forma en la que se almacenan los insumos del proceso de estampado, ya que las letras están en tarros de café, lo que hace que cada vez que se está estampado se debe voltear el tarro y buscar las letras y números correspondientes. Los desperdicios descritos no contribuyen en gran medida en la capacidad del procesamiento del Taller Test shop, pero es una buena forma de concientizar a la operación sobre la importancia de mantener un orden en las estaciones de trabajo.

7.4.2 Almacenamiento excesivo de cilindros dentro del taller

El taller cuenta con una gran superficie, la mayoría de la superficie se utiliza para almacenar cilindros que están siendo procesados en alguna etapa. Actualmente hay muchos cilindros almacenados dentro de la planta que no están siendo procesados, hay cilindros para dar de baja, cilindros a la espera de válvulas, y cilindros que deben disponerse de forma especial al tener daños en las válvulas.

Liberar estos espacios de almacenamiento que no tienen que ver con el proceso, significará mayor disponibilidad de espacio en el layout.

Otro punto importante es que actualmente las jaulas no están bien definidas, por lo que su función va cambiando según la necesidad del momento.

7.4.3 Traslado Manual de Cilindros en la Planta

De acuerdo con lo analizado en los value stream mapping realizados, existe mucho tiempo que no agrega valor y que corresponde al tiempo de traslado manual e individual de cada cilindro entre estaciones del proceso. Los cilindros se mueven dentro del taller mediante la acción de un operador, un operador puede mover un cilindro a la vez.

7.4.4 Registro de Información de Proceso

Actualmente, el cambio de almacén de cada cilindro se registra mediante el dispositivo PACT. No obstante, el registro de producción de cada etapa del proceso continúa realizándose en forma manual, a través de formatos físicos que posteriormente son traspasados a planillas Excel. Esta consolidación se efectúa de manera general, sin incorporar información detallada sobre el tipo de cilindro procesado en cada estación.

Este método de registro requiere que los operadores anoten manualmente, con lápiz, los cilindros procesados en cada etapa. Si bien permite mantener un respaldo histórico de la operación, presenta limitaciones relevantes, ya que dificulta la digitalización de la información, reduce la trazabilidad del proceso y se encuentra expuesto a errores humanos. Además, el sistema actual implica una carga administrativa adicional, debido al tiempo invertido tanto en el registro manual durante la operación como en el posterior reprocesamiento y traspaso de la información a planillas Excel.

7.4.5 Clasificación inicial de los cilindros

Se debe fortalecer la forma en la que el equipo de sorting realiza la clasificación de los cilindros que retornan a la planta, el operador es de un área diferente por lo que falta que tenga experiencia en la inspección de los cilindros, esto hace que se generen desperdicios en la clasificación errónea de cilindros que deben ser reprocesados.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales desperdicios identificados en el Taller Test Shop, clasificados según el tipo de desperdicio Lean

asociado. Esta tabla consolida la evidencia observada durante el levantamiento en terreno y resume el impacto que cada condición genera en el proceso operativo. El objetivo es visualizar de forma estructurada las principales oportunidades de mejora detectadas, facilitando su posterior priorización y análisis.

Tabla 11: Desperdicios identificados Taller Test Shop,

Fuente: Elaboración propia

NO.	DESPERDICIO TALLER TEST SHOP	DESPERDICIO LEAN	EVIDENCIA OBSERVADA	IMPACTO EN EL PROCESO
1	Gran cantidad de cajas de insumos (válvulas u otros) apiladas dentro del taller.	Transporte/Movimiento	- Las cajas con válvulas están ubicadas en lugares de alto tránsito del taller. - Las cajas con insumos no están correctamente identificadas y están apiladas una sobre otra.	- Genera obstrucciones en el tránsito de los cilindros, aumentando los tiempos de transporte. - Quitán espacio disponible para transitar o almacenar cilindros. - Se generan movimientos innecesarios al realizar la búsqueda del insumo requerido, ya que no están dispuestos de forma que permitan un acceso expedito y visualización.
2	Almacenamiento excesivo de cilindros que no son procesados dentro del taller	Inventario	Hay una gran cantidad de cilindros almacenados, que no son aptos para ser procesados.	Quitán área disponible en el taller y no son parte del proceso productivo.
3	Las jaulas de almacenamiento no están correctamente identificadas.	Sobre procesamiento	Las jaulas de almacenamiento contienen cilindros que están destinados a distintas estaciones de trabajo del taller.	Se invierte tiempo en reclasificar los cilindros de las jaulas, revisando en qué etapa del proceso de encuentran.
4	Traslado manual e individual de cilindros entre estaciones	Movimiento	Cada operador traslada un cilindro entre estaciones, hay distancias de hasta 32 metros entre estaciones.	Se invierte una cantidad considerable de tiempo en trasladar los cilindros dentro del taller y que no generan valor.
6	Registro manual de producción para cada estación	Sobrepesamiento/Defectos	Registros en papel sobre la producción diaria de cada estación de trabajo.	- Tiempo invertido por el operador en registrar manualmente la información del cilindro. - Tiempo invertido por el Supervisor para traspasar la información a una planilla excel. - Los registros manuales pueden generar errores en el traspaso de la información.
7	Clasificación inicial de los cilindros que llegan a la planta.	Sobrepesamiento	Hay alta ocurrencia de clasificación errónea de cilindros en la etapa que ocurre fuera del taller.	Al taller test shop llegan cilindros erróneamente clasificados que deben ser corregidos por sistema y/o deben ser devueltos a su ubicación correspondiente.

7.5 Identificación cuellos de botella

A partir del levantamiento de información realizado en terreno, la revisión de los registros de producción y el análisis de las capacidades de procesamiento de cada etapa fue posible identificar aquellas estaciones que podrían representar restricciones dentro del flujo operativo del Taller Test Shop. Estas restricciones pueden estar asociadas a la capacidad limitada de los equipos, al uso compartido de una misma máquina en distintas etapas del proceso, o a la disponibilidad de operadores o a la frecuencia con que determinados cilindros requieren pasar por una estación específica.

En este contexto, se analizan a continuación las principales etapas y equipos que presentan potencial impacto en la capacidad productiva del taller:

Tabla 12: Cuellos de botella identificados en Taller Test Shop,

Fuente: Elaboración propia

NO.	CUELLO DE BOTELLA TALLER TEST SHOP	IMPACTO EN EL PROCESO	EVIDENCIA OBSERVADA
1	Equipos desvalvuladores	La capacidad total de los dos equipos para desvalvular que hay en la planta no es suficiente para procesar todos los cilindros que llegan al Taller Test Shop.	Considerando la producción diaria promedio de cilindros NRRT que salen de taller, se considera que las máquinas se utilizan en dos oportunidades: para remover la válvula y luego para instalarla nuevamente, esto significa que las máquinas en promedio tienen un porcentaje de utilización del 183%.
2	Máquina de prueba hidrostática	Si bien la disponibilidad de dos máquinas cumplen con la cantidad promedio de cilindros que requieren prueba, hay ocasiones en que su utilización se ve sobrepasada, debido a la alta demanda ocasional.	El porcentaje de utilización promedio es de un 100%. Siendo el máximo registrado en el periodo analizado de 224%.
3	Remoción manual de etiquetas adhesivas de los cilindros.	Genera una limitación en el proceso de pintura, la capacidad para pintar cilindros es mayor a la capacidad del proceso de preparación de pintura.	El proceso de preparación de pintura tiene una capacidad de 64 cilindros y en el taller se pintan promedio 82 cilindros, por lo que la utilización de esta etapa es del 128%

7.5.1 Equipos Desvalvuladores

Los equipos desvalvuladores son utilizadas tanto en la etapa inicial como en la etapa final del proceso. En la primera etapa, estos equipos se emplean para el retiro de válvulas de los cilindros que ingresan al taller; mientras que, en la etapa final, son utilizados para la reinstalación de las válvulas una vez finalizados los procesos de inspección, prueba y acondicionamiento.

Debido a este doble uso, la capacidad disponible de las desvalvuladoras debe distribuirse entre ambas actividades. Esto genera una reducción en la capacidad efectiva de cada

estación, ya que los mismos equipos deben atender dos etapas distintas del flujo productivo, pudiendo transformarse en una restricción operacional cuando existe alta demanda de cilindros.

7.5.2 Máquina de Prueba Hidrostática (PH)

La etapa de prueba hidrostática cuenta actualmente con dos equipos disponibles. En la práctica, uno de ellos se utiliza principalmente para cilindros portátiles, de 5 litros o menos, mientras que el segundo se destina mayoritariamente a cilindros de mayor capacidad, principalmente de 50 litros.

Cada equipo es operado por una sola persona, lo que limita la capacidad simultánea de procesamiento. De acuerdo con la información levantada, el tiempo de proceso es de aproximadamente 18 minutos por cilindro, por lo que la disponibilidad del operador y la duración del ciclo de prueba influyen directamente en la capacidad de esta etapa. En consecuencia, la prueba hidrostática puede representar una restricción relevante dentro del proceso, especialmente cuando aumenta el volumen de cilindros que requieren esta evaluación.

7.5.3 Remoción de etiquetas

Cuando se envasan los cilindros se deben etiquetar con adhesivos en donde se indica el tipo de gas y otro tipo de clasificaciones de seguridad.

Para los procesos de pintura se requiere la correcta remoción de estas etiquetas adhesivas, lo anterior debe realizarse con extrema precaución mediante la utilización de una espátula metálica, para evitar causar daños al manto del cilindro. Se debe asegurar la remoción total de los adhesivos, esto resulta una tarea que toma un tiempo excesivo en comparación al proceso de pintura.

Para el caso de los cilindros portátiles medicinales, cuando llegan al taller presentan un aspecto muy descuidado por la gran cantidad de adhesivo con suciedad que tienen en su manto. Como se trata de cilindros de uso médico, se ha levantado por parte de los clientes, el hecho de que deben ser presentados de forma más higiénica y se debe retirar todas las etiquetas y adhesivos con suciedad, esta etapa del proceso toma un tiempo considerable y se realiza mediante el uso de una virutilla, lo cual permite limpiar el cilindro y que quede con un aspecto más presentable.

7.5.4 Equipo Granallado

La máquina de granallado cuenta con una capacidad de procesamiento limitada (30 cilindros/turno). Sin embargo, de acuerdo con los datos recopilados a partir de los registros manuales, el promedio de cilindros granallados por día corresponde a aproximadamente 14 unidades.

Adicionalmente, a partir del análisis de estos mismos registros, se observa que sólo una proporción reducida de cilindros requiere pasar por este proceso. Por lo tanto, si bien el equipo presenta una capacidad limitada, su impacto como cuello de botella dependerá directamente de la frecuencia con que los cilindros requieran granallado y del volumen diario de demanda asociado a esta etapa, que de acuerdo con los datos históricos no ve su capacidad diaria superada.

7.6 Análisis causal

Se desarrolla un análisis causal con el objetivo de determinar las causas raíz que explican las ineficiencias observadas.

7.6.1 Diagrama de Ishikawa

Se agrupan los factores causales en seis dimensiones: método, mano de obra, máquinas, materiales e insumos, medición y entorno de trabajo.

Tabla 13: Tabla resumen diagrama Ishikawa,

Fuente: Elaboración propia

DIMENSIÓN	CAUSAS IDENTIFICADAS	DESPERDICIO ASOCIADO
Método	- Falta de estandarización para el uso de jaulas. - Falta de estandarización para la clasificación inicial del cilindro que ocurre fuera del Taller Test Shop. - Falta de estandarización para el almacenamiento de insumos requeridos dentro del taller.	Sobrepromocionamiento, espera, inventario.
Mano de Obra	- Alta dependencia en la experiencia del operador para la clasificación inicial del cilindro. - Aumento en la variabilidad en la ejecución de los procesos cuando difieren los criterios cualitativos.	Variabilidad, reprocesamiento.
Máquinas	- Capacidad limitada de las máquinas de prueba hidrostática en periodos de alta demanda. - Capacidad limitada de equipos desvalvuladores. - Falta de metodología para facilitar la remoción de etiquetas adhesivas.	Tiempos de espera, cuello de botella.

Materiales e Insumos	• Cajas con insumos ubicadas sin orden lógico dentro del taller. • Insumos sin identificación y con difícil acceso.	Movimiento, transporte, tiempos de espera.
Medición	• Registro manual del procesamiento por etapa. • SAP sólo permite identificar movimientos entre almacén, no la etapa específica por donde pasó el cilindro.	Defectos de información, sobreprocesamiento.
Entorno	• Las estaciones del taller que son secuenciales no cuentan con ubicación acorde al proceso. • Traslado manual e individual de los cilindros. • Jaulas sin identificación estandarizada. • Oficina del supervisor se encuentra en un punto con alto tránsito del taller. • Equipos fuera de servicio que están dentro del Taller Test Shop utilizando espacio.	Transporte, movimiento, inventario.

7.6.2 Aplicación 5 porqués

1. Almacenamiento Insumos

Tabla 14: Almacenamiento de insumos, 5 ¿por qué?,

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Por qué los operadores pierden tiempo buscando insumos?	Porque los insumos se encuentran almacenados en cajas, estantes o zonas sin identificación visual suficiente.
¿Por qué no están identificados adecuadamente?	Porque no existe un sistema de almacenamiento visual estandarizado para válvulas, tulipas, letras de estampado y repuestos.
¿Por qué no existe ese sistema?	Porque la gestión de insumos se ha desarrollado principalmente de forma operativa y reactiva.
¿Por qué se gestiona de forma reactiva?	Porque no se ha implementado una metodología formal de orden, reposición, ubicación fija y control visual.
Causa raíz	Ausencia de un sistema 5S y gestión visual para insumos críticos del proceso.

2. Almacenamiento Cilindros que no pueden ser procesados

Tabla 15: Almacenamiento de cilindros, 5 ¿por qué?,

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Por qué hay exceso de cilindros almacenados dentro del taller?	Porque se mantienen cilindros en proceso, cilindros detenidos, cilindros a la espera de insumos y cilindros que no necesariamente serán procesados en el corto plazo.
¿Por qué se mantienen cilindros detenidos dentro del taller?	Porque no existe una zona claramente diferenciada para cilindros en espera, cilindros bloqueados, cilindros para baja y cilindros listos para la siguiente etapa.
¿Por qué no existe esta diferenciación?	Porque las jaulas de almacenamiento no tienen una función estandarizada ni señalética suficiente.

¿Por qué las jaulas no tienen función estandarizada?	Porque el layout ha sido utilizado de forma flexible según la necesidad diaria, sin una lógica visual permanente de flujo.
Causa raíz	Falta de gestión visual y estandarización del almacenamiento intermedio, lo que genera acumulación, mezcla de cilindros y pérdida de espacio operativo.

3. Clasificación inicial errónea

Tabla 16: Clasificación inicial errónea, 5 ¿por qué?

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Por qué llegan cilindros mal clasificados al Test Shop?	Porque la clasificación inicial realizada fuera del taller no siempre identifica correctamente el mantenimiento requerido.
¿Por qué no se identifica correctamente?	Porque el criterio de clasificación depende de la experiencia del operador y de una inspección cualitativa.
¿Por qué depende tanto de la experiencia?	Porque no existe suficiente estandarización visual o checklist operativo para diferenciar claramente los tipos de mantenimiento.
¿Por qué no existe ese estándar visual?	Porque el proceso de clasificación inicial no está plenamente integrado con los criterios técnicos del Test Shop.
Causa raíz	Falta de estandarización y retroalimentación entre Sorting y Test Shop para asegurar una clasificación inicial correcta.

4. Registro Información del Proceso

Tabla 17: Registro información del proceso, 5 ¿por qué?

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Por qué el registro de producción presenta limitaciones?	Porque la producción por etapa se registra manualmente y luego se consolida en planillas Excel.
¿Por qué se registra manualmente?	Porque SAP registra movimientos entre almacenes, pero no entrega trazabilidad operacional completa por etapa del proceso.
¿Por qué no existe trazabilidad por etapa?	Porque no se ha implementado un sistema digital de captura de información operacional en cada estación.
¿Por qué no se ha implementado?	Porque el control actual se ha enfocado en registrar entradas y salidas del taller, no necesariamente el avance detallado del flujo interno.
Causa raíz	Brecha de digitalización y trazabilidad operacional, que limita el seguimiento del desempeño real por estación.

Del Análisis causal desarrollado se concluye que las principales ineficiencias del Taller Test Shop, no sólo se relacionan con la capacidad de procesamiento de los equipos, sino también por factores asociados a desperdicios que ocurren en el proceso, asociados a estandarización, orden del taller, disposición de estaciones, almacenamiento entre otros.

Las oportunidades de mejora deben orientarse no sólo a aumentar la capacidad de las etapas del proceso (equipos y dotación) sino también a reducir desperdicios estandarizando los procesos, revisando la configuración del layout, y mejorar la toma de datos del proceso.

8 Plan de Acción y evaluación de las mejoras

A partir de la línea base operacional definida en el capítulo anterior, así como del análisis de capacidades, los Value Stream Mapping y el análisis causal realizado mediante herramientas Lean, se formularon iniciativas orientadas a mejorar el desempeño global del Taller Test Shop. Las propuestas buscan aumentar la disponibilidad de cilindros aptos para el llenado mediante la intervención de las principales restricciones identificadas, la reducción de desperdicios operacionales y el fortalecimiento de las condiciones de seguridad y ergonomía de los puestos de trabajo.

Las mejoras propuestas fueron agrupadas según la naturaleza del beneficio esperado, distinguiendo entre iniciativas con impacto directo sobre la capacidad productiva, mejoras orientadas a incrementar la eficiencia operacional y acciones destinadas al control de riesgos y fortalecimiento de las condiciones de trabajo. Esta clasificación permite aplicar metodologías de evaluación acordes con el tipo de beneficio generado y establecer criterios objetivos para su posterior priorización.

Posteriormente, se identifican los recursos requeridos para su implementación, los indicadores de control, las inversiones asociadas y los plazos estimados de ejecución. Finalmente, se desarrolla una metodología de evaluación y priorización que permite construir una hoja de ruta gradual de implementación, alineada con los objetivos definidos para la presente investigación.

8.1 Formulación y clasificación de mejoras propuestas

Las mejoras propuestas buscan aumentar la disponibilidad de cilindros aptos para el llenado, eliminando las restricciones de capacidad identificadas, reduciendo desperdicios asociados al flujo operacional y fortalecer las condiciones de seguridad y ergonomía de los puestos de trabajo. Para facilitar la evaluación de las mejoras propuestas, éstas fueron agrupadas según su objetivo y evaluadas utilizando metodologías acordes con la cuantificación del beneficio esperado de cada una.

8.1.1 Mejoras con impacto directo en capacidad productiva

Las mejoras aquí detalladas se relacionan directamente con el aumento de la capacidad de procesamiento del Taller Test Shop, esto luego de identificar los principales cuellos de botella en todas las etapas del proceso. Las iniciativas aquí descritas permitirán aumentar la cantidad de cilindros que se puedan procesar diariamente mediante la adquisición de

nuevos equipos, recuperación de equipamiento existente y optimización de actividades que son parte del proceso productivo.

El impacto de estas mejoras puede ser cuantificado directamente a través del aumento de la capacidad productiva, con los indicadores definidos anteriormente. Estas mejoras al tener un impacto directo en la cantidad de cilindros procesadas en el taller serán evaluadas mediante indicadores de rentabilidad financiera como el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación (PAYBACK).

Tabla 18: Mejoras con impacto directo en capacidad productiva, Fuente: Elaboración propia

MEJORA CAPACIDAD PRODUCTIVA	CUELLO DE BOTELLA	IMPACTO
1. Instalación nuevo equipo para realización de prueba hidrostática.	• Capacidad limitada de procesamiento de estación de prueba hidrostática en periodos de alta demanda. • Los dos equipos actualmente operativos llevan más de 25 años de operación, por lo que significan un alto riesgo de confiabilidad en caso de falla.	• Aumento de capacidad de prueba hidrostática del taller para periodos de alta demanda. • Modernización equipamiento y aumento en la confiabilidad de la etapa de PH.
2. Instalación de tres equipos desvalvuladores adicionales.	• Capacidad limitada de procesamiento en etapa de retiro e instalación de válvulas.	• Aumento de capacidad estación de inspección inicial y final.
3. Aplicación de solución química para remoción de adhesivos de la superficie de los cilindros.	• Tiempo invertido en la remoción manual y limpieza de pegamento de los cilindros.	• Aumento en la capacidad de procesamiento de la etapa de preparación de pintura.

8.1.2 Mejoras de eficiencia operacional

Las mejoras de eficiencia operacional corresponden a iniciativas orientadas a reducir desperdicios identificados en el flujo del proceso, tales como transporte innecesario, movimientos de operadores, búsqueda de insumos, acumulación de inventario en proceso, reclasificaciones y utilización ineficiente de los espacios disponibles.

Si bien estas acciones no generan necesariamente un aumento directo en la capacidad nominal de los equipos, permiten mejorar el aprovechamiento de los recursos existentes, reducir tiempos improductivos y facilitar la continuidad del flujo operacional.

El beneficio esperado de estas iniciativas será evaluado principalmente mediante la reducción de tiempos de transporte, disminución de actividades que no agregan valor, mejora del flujo de materiales y liberación de capacidad operacional de los trabajadores.

Tabla 19: Mejoras de soporte operacional, Fuente: Elaboración propia

MEJORA SOPORTE OPERACIONAL	DESPERDICIO	IMPACTO
1. Desarrollar herramienta para el registro automático de producción de cada etapa del proceso del taller test shop (aplicación).	Registro manual de producción para cada estación y consolidación posterior en planilla	Reducción en tiempo de reprocesamiento, aumento en la fiabilidad de los datos de producción.
2. Reubicación de oficina supervisor	Baja eficiencia del layout	Aumento disponibilidad de espacio en lugar de alto tránsito
3. Restructuración y definición de jaulas de almacenamiento de cilindros dentro del taller.	Almacenamiento excesivo de cilindros que no pueden ser procesados dentro del taller.	Disminución de tiempos de reproceso por reclasificación y eliminación de cilindros almacenados que no forman parte del proceso.
4. Instalación de bodega de almacenamiento de insumos	Falta de orden y organización de insumos	Estandarización de almacenamiento de insumos (ubicación definida, señalética y criterios para almacenar)
5. Adquisición dos equipos para trasladar cilindros dentro del taller.	Tiempo de traslado individual de cilindros que no agregan valor	Disminución en tiempos de traslado de cilindros dentro del taller.

8.1.3 Mejoras de seguridad y ergonomía

Las mejoras agrupadas en esta categoría tienen como finalidad reducir la exposición de los trabajadores a riesgos operacionales, mejorar las condiciones ergonómicas de las actividades realizadas y fortalecer el cumplimiento de los estándares normativos y corporativos de seguridad.

Estas iniciativas contribuyen a disminuir esfuerzos físicos innecesarios, reducir la probabilidad de incidentes asociados a la manipulación de cilindros y mejorar las condiciones generales de trabajo dentro del taller.

Tabla 20: Mejoras de seguridad y ergonomía, Fuente: Elaboración Propia

MEJORAS SEGURIDAD Y ERGONOMÍA	PROBLEMA DE SEGURIDAD/ERGONOMÍA	IMPACTO
1. Adquisición equipo para estampado de cilindros	Contaminación acústica proceso manual de estampado de cilindros.	Disminuye la emisión de ruido del taller y del esfuerzo requerido para la manipulación del cilindro durante el estampado.

2. Reemplazo equipos volteadores de cilindros para vaciado de agua de la prueba hidrostática.	Sobreesfuerzo al impulsar los volteadores manuales de cilindros con agua.	Eliminación del esfuerzo manual para voltear el cilindro con agua tras la prueba, previniendo trastornos musculoesqueléticos de origen laboral.
3. Reparación de sellos máquina de granallado	Fuga de partículas de granallado.	Eliminación del riesgo de emisión de partículas de granallado e incidentes asociados.

8.2 Plan de implementación de las mejoras

Una vez definidas las iniciativas, se determinaron los recursos requeridos, los indicadores de desempeño, las inversiones asociadas y los horizontes de implementación necesarios para ejecutar cada propuesta.

La definición de estos elementos permite transformar las mejoras identificadas durante la fase de diagnóstico en un plan de acción concreto y ejecutable, facilitando la toma de decisiones respecto de futuras inversiones y estableciendo los mecanismos de control necesarios para verificar el cumplimiento de los resultados esperados.

Los recursos definidos consideran requerimientos de equipamiento, infraestructura, obras civiles, servicios auxiliares, capacitación de personal, modificaciones al layout y actualización de procedimientos operacionales.

De manera complementaria, se definieron indicadores de desempeño alineados con los objetivos de cada mejora, permitiendo posteriormente verificar su efectividad mediante la comparación entre la situación inicial y los resultados obtenidos tras su implementación.

A continuación, se presentan en detalle los recursos requeridos, los indicadores asociados, los plazos de implementación y las inversiones estimadas para cada iniciativa propuesta.

El análisis de inversiones evidencia que aproximadamente un 28 % de la cartera total corresponde a iniciativas destinadas directamente al aumento de capacidad productiva, mientras que el resto se distribuye entre mejoras de eficiencia operacional y seguridad y ergonomía. Este resultado refleja que una parte significativa de las oportunidades identificadas se relaciona con la eliminación de desperdicios y el fortalecimiento de las condiciones operacionales del proceso, más que con la simple incorporación de capacidad instalada adicional.

Tabla 21: Recursos, indicadores de control, plazos de implementación e inversión para mejoras con aumento de capacidad productiva, Fuente: Elaboración propia

MEJORAS IMPACTO EN CAPACIDAD	RECURSOS REQUERIDOS	INDICADOR DE DESEMPEÑO	PLAZO IMPLEMENTACIÓN	TIPO DE INVERSIÓN	MONTO INVERSIÓN [CLP]
1. Instalación nuevo equipo para realización de prueba hidrostática	• Inversión equipo de PH • Obra civil • Habilitación de utilidades (agua, electricidad, línea neumática). • Aumento de dotación en un operador adicional. • Capacitación operador adicional	Capacidad de procesamiento etapa PH • Valor actual: 50 [cilindros/turno] • Valor esperado: 75 [cilindros/turno]	Mediano Plazo 4 a 8 meses	CAPEX	21.095.846
2. Instalación de tres equipos desvalvuladores adicionales.	• Recuperación de dos equipos fuera de uso en otras plantas, inversión de traslado y reacondicionamiento. • Inversión en nuevo equipo desvalvulador. • Adecuación espacio en dónde se ubicarán • Habilitación de utilidades • Aumento de dotación un operador adicional para inspección en área de cilindros de mayor volumen.	Capacidad etapa inspección inicial/venteo • Valor actual: 40 [cilindros/turno] • Valor esperado: 100 [cilindros/turno] Capacidad etapa fase final • Valor actual: 40 [cilindros/turno] • Valor esperado: 100 [cilindros/turno]	• Habilitación equipos existentes Corto Plazo 1-3 meses • Adquisición nuevo equipo Mediano Plazo 4-8 meses	CAPEX	40.570.945
3. Aplicación de solución química para remoción de adhesivos de la	• Costo operacional de adquisición solución. • Capacitación personal sobre uso de solución	Capacidad etapa preparación pintura • Valor actual: 64 [cilindros/turno]	Corto plazo 1-3 meses	OPEX	233 CLP/Cilindro

superficie de los cilindros.	5 litros de solución rinden para 150 cilindros.	Valor esperado: 100 [cilindros/turno]			
------------------------------	---	---	--	--	--

El ítem número 3 no requiere inversión de capital, corresponde a un costo operacional unitario.

Tabla 22: Recursos, indicadores de control, plazos de implementación e inversión para mejoras de soporte operacional, Fuente: Elaboración propia

MEJORAS SOPORTE OPERACIONAL	RECURSOS REQUERIDOS	INDICADOR DE DESEMPEÑO	PLAZO IMPLEMENTACIÓN	TIPO DE INVERSIÓN	INVERSIÓN [CLP]
1. Herramienta para el registro automático de producción de cada etapa del proceso del taller test shop.	- Adquisición equipamiento registro (tablets) - Integración nuevo sistema - Capacitación personal	Trazabilidad operacional del proceso - Valor actual: 0% Registro digital para todas las etapas del proceso - Valor esperado: 100% Registro digital para todas las etapas	Largo plazo 6-12 meses	CAPEX	12.444.300
2. Reubicación de oficina supervisor	- Inversión en Obra civil - Rediseño layout	Aumento en la disponibilidad de espacio con alto tránsito - Valor actual: área ocupada por oficina - Valor esperado: área disponible para la operación	Mediano plazo 4-8 meses	CAPEX	32.675.010

3. Restructuración y definición de jaulas de almacenamiento de cilindros dentro del taller.	- Rediseño layout para optimizar el espacio de almacenamiento. - Estandarizar la clasificación de las jaulas. - Entrenamiento personal. - Actualización procedimientos.	N° cilindros almacenados dentro de la planta que no son parte del proceso. - Valor actual: 241 [cilindros] - Valor esperado: 0 [cilindros]	Corto plazo 1-3 meses	CAPEX	4.891.500
4. Instalación de bodega de almacenamiento de insumos	- Decomisionamiento y retiro compresor de aire. - Habilitación espacio para almacenamiento de insumos - Estandarización del almacenamiento.	Cumplimiento del estándar de almacenamiento - Valor actual: Sin medición - Valor esperado: 100% cumplimiento	Corto plazo 1-3 meses	CAPEX	11.503.125
5. Adquisición dos equipos para trasladar cilindros dentro del taller.	2 carros para transportar 4 cilindros cada uno - Capacitación personal sobre su uso	Tiempo de traslado de cilindros - Valor actual: 6 [min/cilindro] - Valor esperado: 1,5 [min/cilindro]	Mediano Plazo 4-8 meses	CAPEX	17.440.378

Algunas iniciativas de soporte operacional tienen como finalidad mejorar la organización, estandarización y flujo del proceso. En estos casos no fue posible determinar de forma directa una línea base cuantitativa del beneficio esperado durante la etapa de diagnóstico. Por este motivo, su efectividad será evaluada mediante indicadores de implementación, cumplimiento de estándares operacionales y auditorías de gestión visual, complementados posteriormente con mediciones de desempeño una vez implementadas las mejoras.

Tabla 23: Recursos, indicadores de control, plazos de implementación e inversión para mejoras de seguridad y ergonomía, Fuente: Elaboración propia

MEJORAS SEGURIDAD Y ERGONOMÍA	RECURSOS REQUERIDOS	INDICADOR DE DESEMPEÑO	PLAZO IMPLEMENTACIÓN	TIPO DE INVERSIÓN	INVERSIÓN [CLP]
1. Adquisición de equipo para estampado de cilindros	• Inversión equipo de estampado • Adecuación espacio • Habilitación de utilidades (agua, electricidad, línea neumática). • Capacitación personal	• Disminución ruido taller • Disminución esfuerzo manual operador. La línea base y meta deberán establecerse mediante mediciones.	Mediano Plazo 4-8 meses	CAPEX	25.728.291
2. Reemplazo de equipos volteadores de cilindros para vaciado de agua de la prueba hidrostática.	• Equipos volteadores neumáticos • Habilitación utilidades • Capacitación personal	• Disminución carga movilizadora por el operador • Reducción exposición diaria a sobreesfuerzo. La línea base y meta deberán establecerse mediante mediciones.	Mediano plazo 4-8 meses	CAPEX	51.059.364
3. Reparación de sellos máquina de granallado	• Repuestos sellos • Servicio de reparación	• Existencia de fugas visibles de granalla y concentración de partículas en suspensión. El resultado esperado es eliminar las emisiones no	Corto plazo 1-3 meses	CAPEX	4.085.250

		controladas y alcanzar un nivel de riesgo aceptable.			
--	--	--	--	--	--

Tabla 24: Resumen inversiones requeridas para implementación de mejoras,
Fuente: Elaboración propia

CLASIFICACIÓN MEJORAS	MONTO INVERSIÓN [CLP]	% INVERSIÓN TOTAL
Capacidad Productiva	61.666.791	28%
Eficiencia Operacional	78.954.313	35%
Seguridad y Ergonomía	83.188.455	37%
TOTAL	223.809.559	100%

La composición de la cartera muestra que menos de un tercio de la inversión total se destina al bloque que efectivamente incrementa la producción del taller. Este hecho no invalida la propuesta, pero sí obliga a que la evaluación distinga con claridad qué parte de la inversión se justifica por rentabilidad y qué parte se justifica por cumplimiento normativo o por mejora de las condiciones de trabajo.

8.3 Evaluación de las mejoras propuestas

8.3.1 Metodología de evaluación diferenciada

Dado que las iniciativas propuestas generan beneficios de distinta naturaleza, no resulta apropiado utilizar un único criterio de evaluación para todas ellas, es por esto que se definió una metodología de evaluación diferenciada según el tipo de impacto esperado.

Las mejoras con efecto directo sobre la productividad fueron sometidas a una evaluación económica y financiera, mientras que las iniciativas orientadas a mejorar la eficiencia operacional y las condiciones de seguridad fueron evaluadas mediante indicadores de desempeño operacional y reducción de riesgos respectivamente.

Este enfoque permite valorar adecuadamente cada propuesta según el beneficio que aporta al proceso y proporciona una base objetiva para la priorización de futuras inversiones.

8.3.2 Evaluación mejoras de capacidad

Se evalúan en primer lugar la adquisición de nuevos equipos que aumentan directamente la capacidad de procesamiento del Taller Test Shop, es decir, las mejoras que requieren de inversión de capital.

Estas mejoras fueron evaluadas considerando el aumento esperado en la cantidad de cilindros que pueden ser procesados por el Taller Test Shop y el efecto que este incremento tiene sobre la disponibilidad de cilindros aptos para llenado.

Para estimar los beneficios económicos asociados, se consideró el valor de recuperación del activo cilindro y la capacidad adicional generada por cada iniciativa. Posteriormente se realizó una evaluación financiera mediante indicadores de rentabilidad tales como Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y período de recuperación de la inversión. Se analiza el beneficio del proyecto que existirá de habilitar cilindros adicionales, esto se estima considerando la brecha actual que existe entre los cilindros OCYL que llegan al taller y con la cantidad de cilindros NRRT que salen aptos para el llenado del taller, esto para un periodo anual. Para la evaluación económica se consideraron los siguientes parámetros y suposiciones:

Tabla 25: Parámetros evaluación económica mejoras aumento capacidad,
Fuente: Elaboración propia

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Inversión Inicial	61.666.791	[CLP]
Días Hábiles 2027	195	[Días/año]
Cilindros diarios OCYL	85	[Cilindros/día]
Cilindros diarios NRRT	73	[Cilindros/día]
Incremento diario producción	12	[Cilindros/día]
Producción adicional requerida	2.340	[Cilindros/año]
Dotación adicional	2	[Operadores]
Costo operador	1.450.000	[CLP/mes]
Costo mano de obra adicional	34.800.000	[CLP/año]
Costo mantenimiento nuevo equipamiento	1.850.004	[CLP/año]
Horizonte evaluación	5	[Años]
Tasa de descuento	10	[%]
Recuperación de capital anual	16.267.544	[CLP/año]
Costo anual equivalente	52.917.548	[CLP/año]
Precio equilibrio	22.614	[CLP/cilindro]
Precio cilindro nuevo, costo de reposición evitado.	150.000	[CLP/cilindro]

Se evalúan distintos escenarios de recuperación de cilindros, si se resuelve la totalidad de la brecha diaria promedio o menos:

Tabla 26: Resumen evaluación económica mejoras de impacto en capacidad productiva,

Fuente: Elaboración propia

ESCENARIOS EVALUADOS	CILINDROS /AÑO	BENEFICIO ANUAL BRUTO POR REPOSICIÓN EVITADA [CLP]	VAN [CLP]	TIR [%]	PAYBACK [AÑOS]
1. 12 cilindros/día	2.340	351.000.000	1.129.967.016	510	0,2
2. 5 cilindros/día	975	146.250.000	353.803.425	177	0,56
3. 2 cilindros/día	390	58.500.000	21.161.886	23	2,82

En los 3 escenarios el VAN es positivo y la TIR supera la tasa de descuento del 10%. Para el tercer escenario evaluado se observa que el periodo de recuperación es de casi 3 años, por lo que es bueno obtener esta sensibilidad para cuando se revisen los indicadores con las inversiones realizadas, ya que la adquisición de nuevos equipos podría no convertir todos los cilindros en compras evitadas, debido a los rechazos de las inspecciones, diferencias en formato o falta de demanda.

En segundo lugar se evalúa la implementación uso solución química para remoción de adhesivos, esta mejora contempla una inversión operacional, es decir, el costo de comprar la solución para el proceso de remoción de etiquetas. Los parámetros considerados para su evaluación son los siguientes:

Tabla 27: Parámetros evaluación mejora para etapa preparación pintura,

Fuente: Elaboración propia

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Tiempo actual remoción de etiquetas	14	[minutos/cilindro]
Reducción de tiempo con solución	5	[minutos/cilindro]
Cilindros procesados por turno	82	[cilindros/turno]
Tiempo liberado	6,83	[h/día]
Tiempo liberado anual	1.332	[h/año]
Costo solución	233	[CLP/cilindro]
Costo hora hombre	9.667	[CLP/h]
Beneficio anual	12.876.444	[CLP/año]
Costo anual solución	3.725.670	[CLP/año]
Beneficio Neto	9.150.774	[CLP/año]

La implementación de una solución química para la remoción de adhesivos en la etapa de preparación de pintura evidencia beneficios operacionales relevantes, permitiendo aumentar la capacidad de la estación y liberar una cantidad significativa de tiempo operativo durante cada turno de trabajo. La evaluación realizada demuestra que esta iniciativa presenta bajos requerimientos de inversión y un potencial impacto relevante sobre el balance de la línea de pintura.

8.3.3 Evaluación mejoras de eficiencia operacional

Estas iniciativas no incrementan la capacidad del sistema, ya que ninguna de ellas interviene la restricción activa. Su beneficio se expresa en horas hombre liberadas de actividades que no agregan valor y en superficie recuperada dentro del taller. Se evalúan cuantificando el tiempo actualmente destinado a transporte manual, búsqueda de materiales, reclasificación de cilindros y consolidación manual de registros, y valorizando dicho tiempo al costo de la hora hombre cargada.

Es importante precisar el alcance de este beneficio. Las horas hombre liberadas sólo se traducen en ahorro efectivo de caja si el personal es reasignado a otras tareas o si permiten evitar una contratación futura; en caso contrario constituyen holgura operacional, valiosa para absorber la variabilidad de la demanda, pero no monetizable de forma directa. Por esta razón el resultado se presenta como potencial de ahorro y no se integra al flujo de caja del bloque de capacidad.

- **Evaluación de adquisición de equipos de traslado de cilindros**

Se propone adquirir dos equipos de traslado de cilindros que funcionan con un sistema neumático y pueden transportar 4 cilindros cada uno.

Cómo se pudo corroborar en la medición de tiempos, se estimó que un cilindro que pasa por todas las etapas tiene un tiempo de traslado total de 6 minutos, considerando que la utilización de carro, este tiempo se reduce a la cuarta parte, se obtiene que hay una recuperación de tiempo de 4,5 minutos por cilindro.

Tabla 28: Parámetros y evaluación para mejora de adquisición de equipos de traslado de cilindros,

Fuente: Elaboración propia

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Tiempo actual de traslado	6	[minutos/cilindro]
Reducción de tiempo con solución	4,5	[minutos/cilindro]
Cilindros procesados por turno	73	[cilindros/turno]
Tiempo liberado	5,48	[h/día]

Tiempo liberado anual	1.067	[h/año]
Costo hora hombre	9.667	[CLP/h]
Beneficio anual	10.320.375	[CLP/año]
Costo inversión	17.440.378	[CLP/año]
Payback	1,69	[año]

- **Herramienta de registro automático de producción**

El beneficio directo de esta iniciativa, correspondiente al tiempo de consolidación manual de registros que evita, resulta modesto frente a su inversión de CLP 12.444.300: considerando un ahorro de una hora diaria, el ahorro anual asciende a CLP 1.570.833 y el período de recuperación supera los siete años.

Sin embargo, su justificación principal no es el ahorro de horas sino la habilitación de la medición. El presente trabajo evidenció que la ausencia de trazabilidad por etapa impide contrastar las fuentes de datos disponibles y verificar el cumplimiento de los indicadores comprometidos. Bajo esta perspectiva, la herramienta debe entenderse como una inversión habilitante del sistema de control de gestión del taller.

- **Reestructuración de jaulas y bodega de insumos**

Ambas iniciativas suman una inversión de CLP 16.394.625 y presentan plazos de implementación cortos. No fue posible establecer una línea base cuantitativa del tiempo destinado a la búsqueda de insumos y a la reclasificación de cilindros durante la etapa de diagnóstico, por lo que su evaluación se realiza mediante indicadores de cumplimiento: la eliminación de los cilindros almacenados fuera de proceso y el cumplimiento del estándar de almacenamiento de insumos.

- **Reubicación de la oficina del supervisor**

Con CLP 32.675.010, esta iniciativa concentra el 41 % de la inversión del bloque de eficiencia operacional y el 15 % de la cartera total, y es la única cuyo beneficio no admite cuantificación en horas hombre ni en unidades producidas. Pero se liberará área del taller y se podrá disponer de un lugar para llevar a cabo reuniones con el personal del área y destinar otra área para guardar insumos de uso diario de los operadores.

8.3.4 Evaluación de mejoras de seguridad y ergonomía

Según lo registrado durante el proceso de levantamiento de información, en el taller Test Shop, no se han realizado mediciones recientes de ruido, de partículas en suspensión (atribuibles a la máquina de granallado y el techo de asbesto), y de evaluación de la

manipulación de carga manual. Ya se están realizando las gestiones para coordinar las mediciones de manera de poder registrar el cumplimiento actual de la normativa vigente para estos puntos. En caso de estar incumpliendo estas normativas se deberá realizar las inversiones enlistadas para asegurar las condiciones óptimas para los operadores desempeñan sus funciones.

Tabla 29: Referencias normativas asociadas a las mejoras de seguridad y ergonomía, Fuente:

Elaboración propia.

MEJORA	NORMATIVA APLICABLE	RIESGO PARA DISMINUIR
Equipo estampado de cilindros	DS N°594 del ministerio de salud, sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo (límites de exposición a ruido ocupacional).	Reducción de la exposición del operador a ruido producto por el estampado manual.
Volteadores neumáticos de cilindros	Ley N°20949 que modifica el código del trabajo en materia de peso máximo de carga humana y la guía técnica para la evaluación y control de los riesgos asociados al manejo o manipulación manual de carga.	Un cilindro de 50 litros cargado con agua, y dispuesto en el volteador manual podría exceder el límite legal de carga manual.
Reparación sellos granalladora	DS N°594 del ministerio de salud (control de contaminantes y material particulado en el ambiente de trabajo).	Eliminación de la emisión no controlada de partículas de granalla al ambiente del taller.

8.4 Priorización y hoja de ruta de implementación

Una vez formuladas las mejoras, definidos los recursos necesarios y evaluados sus impactos productivos, operacionales y de seguridad, se desarrolló una metodología de priorización destinada a establecer una secuencia gradual para su implementación. El propósito de esta priorización es orientar la asignación de recursos hacia las iniciativas que generen una mayor contribución al desempeño del Taller Test Shop, resguardando simultáneamente la seguridad de los trabajadores, la continuidad operacional y la sostenibilidad de los resultados.

La priorización no se basó exclusivamente en criterios de rentabilidad financiera, puesto que las iniciativas propuestas generan beneficios de distinta naturaleza. Las mejoras con impacto directo en capacidad fueron evaluadas considerando su contribución al incremento de la producción y los resultados de los indicadores financieros. Las iniciativas de eficiencia operacional fueron analizadas según su capacidad para reducir transporte, movimientos,

reprocesos, acumulación de inventario y limitaciones de trazabilidad. Por su parte, las medidas de seguridad y ergonomía fueron evaluadas de acuerdo con su contribución al control de los riesgos observados y al cumplimiento de las exigencias aplicables.

El diagnóstico desarrollado en el capítulo 7 determinó que las principales restricciones productivas se concentran en la disponibilidad de equipos desvalvuladores, la capacidad de la prueba hidrostática y la preparación superficial previa al proceso de pintura. Asimismo, se identificaron desperdicios asociados al traslado manual e individual de cilindros, al almacenamiento no estandarizado, a la organización de los insumos y al registro manual de la producción. Estos antecedentes constituyen la base para establecer la secuencia de implementación propuesta.

La metodología también reconoce las limitaciones de información existentes. En particular, algunas actividades no cuentan con una línea base cuantitativa representativa, mientras que determinadas iniciativas de seguridad y ergonomía dependen de mediciones aún pendientes. En lugar de asignar beneficios sin respaldo suficiente, estas limitaciones se incorporaron explícitamente en la priorización mediante la clasificación del nivel de evidencia y la definición de acciones para cerrar las brechas de información.

En consecuencia, la priorización se estructura a partir de cinco elementos: criterios ponderados de evaluación, niveles de prioridad, brechas de información, matriz de priorización y plan de implementación por fases. Finalmente, se establecen condiciones de avance y un sistema de seguimiento orientado a verificar que las mejoras implementadas produzcan resultados medibles y sostenibles.

8.4.1 Criterios de priorización

La prioridad de cada iniciativa fue determinada considerando cinco criterios: intervención de la restricción, seguridad y cumplimiento, impacto operacional, esfuerzo de implementación y dependencia respecto de otras iniciativas.

Intervención de la restricción del sistema

Este criterio evalúa si la iniciativa actúa directamente sobre una etapa cuya capacidad limita actualmente el desempeño del taller. Las mejoras asociadas a la prueba hidrostática, las desvalvuladoras y la preparación de pintura reciben una mayor prioridad debido a que intervienen las principales restricciones identificadas durante el diagnóstico.

Seguridad y cumplimiento

Este criterio considera la capacidad de la iniciativa para eliminar o reducir la exposición de los operadores a riesgos de seguridad o ergonomía. Cuando una medida responde a un riesgo no aceptable o a una brecha de cumplimiento, su implementación tendrá carácter obligatorio, con independencia de su rentabilidad financiera.

Las prioridades asignadas a los volteadores neumáticos y al equipo de estampado deben considerarse provisionales hasta completar las mediciones de ruido, partículas y manipulación manual de cargas. Si estas evaluaciones determinan una condición de riesgo no aceptable, las medidas deberán ser reclasificadas como acciones inmediatas.

En el caso de los sellos de la máquina granalladora, la presencia observable de fugas justifica la ejecución de la reparación como medida preventiva. La medición ambiental posterior permitirá verificar la efectividad del control implementado, pero no constituye una condición previa para efectuar la reparación.

Impacto operacional

Este criterio evalúa la contribución esperada de cada iniciativa sobre el flujo del proceso, considerando la reducción del transporte manual, la disminución del inventario en proceso, la eliminación de reclasificaciones, la liberación de espacio, la organización de insumos y el fortalecimiento de la trazabilidad.

Las mejoras de eficiencia operacional no necesariamente aumentan la capacidad nominal de los equipos, pero pueden liberar tiempo de los operadores y mejorar la utilización de los recursos existentes. No obstante, las horas liberadas solo representan un ahorro financiero efectivo cuando permiten evitar horas extraordinarias, una contratación futura o la utilización de recursos adicionales. Si estas condiciones no se cumplen, el beneficio corresponde a holgura operacional disponible para absorber variaciones de la demanda o ejecutar actividades productivas.

Esfuerzo de implementación

El esfuerzo considera la inversión requerida, la complejidad técnica, la necesidad de obras civiles, las habilitaciones de servicios, la disponibilidad de recursos internos y la capacitación necesaria.

Se priorizan inicialmente las iniciativas que permiten obtener resultados con menores niveles de inversión y complejidad. De esta manera, es posible validar los beneficios antes de comprometer recursos en soluciones de mayor envergadura.

Para la asignación del puntaje, este criterio se interpreta de manera inversa: las iniciativas de menor inversión y complejidad reciben una calificación mayor, mientras que aquellas que requieren obras relevantes, equipamiento especializado o inversiones elevadas reciben una calificación menor.

Plazo y dependencias

Este criterio considera el tiempo necesario para ejecutar cada iniciativa y las condiciones que deben cumplirse antes de su implementación.

Algunas mejoras pueden comenzar inmediatamente, mientras que otras dependen del resultado de una prueba piloto, una evaluación técnica, una medición de riesgos o el desempeño observado después de una intervención previa. La priorización considera estas dependencias para evitar inversiones anticipadas en recursos que podrían no constituir la restricción efectiva después de las primeras mejoras.

8.4.2 Escala de calificación y ponderaciones

Para transformar estos criterios en una evaluación comparable entre iniciativas de mejora, cada uno de ellos se califica en una escala de 1 a 5 y se pondera según su importancia relativa.

La mayor ponderación fue asignada a la intervención de la restricción del sistema, debido a que el objetivo general de la investigación es aumentar la productividad del taller y la disponibilidad de cilindros aptos para el llenado. En segundo lugar, se incorporó el criterio de seguridad y cumplimiento, seguido por el impacto operacional, el esfuerzo de implementación y el plazo y las dependencias.

Tabla 30: Escala de calificación y ponderación de los criterios de priorización,

Fuente: Elaboración propia

CRITERIO	PONDERACIÓN	PUNTAJE 5	PUNTAJE 3	PUNTAJE 1
Intervención de la restricción	30 %	Actúa directamente sobre una restricción activa del sistema.	Actúa sobre una estación cuya condición de restricción requiere verificación.	No produce efecto directo sobre la capacidad del sistema.
Seguridad y cumplimiento	25 %	Elimina o controla un riesgo potencialmente no aceptable o una brecha de cumplimiento.	Reduce un riesgo de nivel intermedio.	No presenta un efecto significativo sobre la seguridad.

Impacto operacional	20 %	Contribuye directamente al cierre de la brecha de producción o produce una mejora operacional significativa y medible.	Mejora el flujo, el orden o la trazabilidad, pero su beneficio no se encuentra completamente cuantificado.	Presenta un beneficio operacional marginal.
Esfuerzo de implementación	15 %	No requiere inversión de capital o demanda una inversión inferior a CLP 5 millones, sin obras relevantes.	Requiere una inversión entre CLP 10 y 20 millones o habilitaciones de servicios auxiliares.	Requiere una inversión superior a CLP 40 millones o la ejecución de obras civiles mayores.
Plazo y dependencias	10 %	Puede ejecutarse en un plazo de hasta tres meses y no presenta condiciones previas relevantes.	Requiere entre cuatro y ocho meses o depende de una condición previa.	Requiere más de doce meses o depende de múltiples condiciones.

Los puntajes 2 y 4 se asignan a situaciones intermedias. El puntaje ponderado de cada iniciativa corresponde a la suma de los productos entre la ponderación y el puntaje de cada criterio, y varía entre 1 y 5.

8.4.3 Nivel de prioridad

Las iniciativas fueron clasificadas en cuatro niveles de prioridad. Esta clasificación establece el orden recomendado de ejecución y no representa una evaluación de la importancia absoluta de cada mejora.

Tabla 31: Definición niveles de prioridad, Fuente: Elaboración propia.

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CRITERIO DE APLICACIÓN
1	Inmediata	Controla un riesgo relevante, interviene en una restricción con bajo esfuerzo o permite validar rápidamente la efectividad de la mejora implementada.
2	Alta	Genera un impacto significativo sobre capacidad, flujo o seguridad, pero requiere inversión o preparación adicional
3	Media o condicionada	Presenta beneficios potenciales, pero depende de mediciones, resultados previos o validaciones adicionales.
4	Sujeta a evaluación	El beneficio individual todavía no se encuentra cuantificado o existen alternativas de menor costo que deben analizarse previamente.

La asignación de una prioridad no implica que una iniciativa con nivel inferior carezca de importancia. La clasificación establece el orden recomendado de ejecución, considerando las restricciones de recursos y las dependencias técnicas existentes.

El puntaje ponderado ordena las iniciativas, pero el nivel se asigna aplicando las siguientes reglas:

- Una iniciativa que interviene la restricción activa, pero requiere inversión y obras significativas se clasifica en nivel 2, iniciándose de inmediato su gestión de compra.
- Una iniciativa cuyo beneficio depende de una medición pendiente se clasifica en nivel 3, independiente de su puntaje.
- Si dicha medición confirma una brecha respecto de un límite legal o un riesgo no aceptable, la iniciativa se reclasifica en nivel 1 con carácter obligatorio, conforme al criterio de seguridad y cumplimiento.
- Las acciones de organización, estandarización o recuperación de equipos existentes pueden clasificarse como inmediatas cuando presentan un bajo esfuerzo y permiten estabilizar el proceso antes de realizar inversiones de mayor magnitud.

8.4.4 Brechas de información y nivel de evidencia

El diagnóstico permitió identificar las restricciones y los desperdicios principales del proceso. Sin embargo, también evidenció brechas de información que reducen el grado de certeza de algunos beneficios estimados.

La primera brecha corresponde a la ausencia de mediciones sistemáticas del tiempo destinado a la búsqueda de insumos y a la reclasificación de cilindros. Si bien ambas condiciones fueron observadas durante el levantamiento en terreno, no se dispone de una línea base suficientemente representativa para valorizar las horas que podrían liberarse mediante la reestructuración de las jaulas o la habilitación de la bodega.

La segunda brecha corresponde a la falta de mediciones recientes de exposición a ruido, partículas en suspensión y manipulación manual de cargas. Esta limitación impide determinar si las condiciones observadas producen una exposición superior a los límites aplicables o un nivel de riesgo no aceptable.

Tabla 32: Brechas de información mejoras propuestas, Fuente: Elaboración propia.

BRECHA DE INFORMACIÓN	INICIATIVAS AFECTADAS	EFFECTO SOBRE LA EVALUACIÓN	ACCIÓN DE CIERRE
Medición de tiempos basada en observaciones puntuales, sin registro de tiempos en búsqueda de insumos ni reclasificación.	Jaulas, bodega de insumos.	Los beneficios en horas hombre son estimaciones y algunos no cuentan con línea base.	Estudio de tiempos con tamaño de muestra representativo por estación.
Ausencia de mediciones recientes de ruido, material particulado y manejo manual de carga (MMC).	Equipo de estampado, sellos de granalladora, volteadores.	No es posible determinar si existe incumplimiento normativo.	Dosimetría de ruido, medición de partículas en suspensión, incluida la condición del techo de asbesto, y evaluación MMC con el área de prevención de riesgos.

Para hacer visible el grado de certeza de cada iniciativa, la matriz de priorización incorpora el nivel de evidencia que la respalda, clasificado en cuatro categorías:

- Medido: cuando se sustenta en la medición de tiempos o en los registros SAP.
- Observado: cuando fue constatado en terreno sin cuantificación.
- Estimado: cuando fue cuantificado mediante supuestos.
- Pendiente: cuando depende de una medición aún no realizada.

La incorporación del nivel de evidencia permite distinguir entre oportunidades demostradas cuantitativamente y aquellas que requieren información adicional. Esto evita que una estimación sea presentada con el mismo nivel de certeza que un resultado medido.

8.4.5 Matriz de priorización

La matriz de priorización presenta las iniciativas agrupadas según el nivel asignado y, dentro de cada nivel, ordenadas de acuerdo con su puntaje ponderado. Esta forma de presentación permite reflejar las reglas metodológicas definidas previamente, debido a que determinadas iniciativas pueden tener un puntaje elevado y mantenerse condicionadas por la ausencia de mediciones.

Para los equipos desvalvuladores se separaron dos decisiones de inversión. La primera corresponde a la recuperación de dos equipos existentes en otras plantas, mientras que la segunda corresponde a la adquisición de un equipo nuevo. Esta separación permite implementar inicialmente la alternativa de menor esfuerzo y verificar si la restricción persiste antes de realizar una inversión adicional.

Tabla 33: Matriz de priorización mejoras, Fuente: Elaboración propia

MEJORA	C1	C2	C3	C4	C5	PUNTAJE	EVIDENCIA	NIVEL
	30%	25%	20%	15%	10%			
Solución química para remoción de adhesivos	5	1	4	5	5	3,8	Medido	1
Recuperación de dos desvalvuladores existentes	5	1	3	4	4	3,35	Medido	1
Reestructuración de jaulas de almacenamiento	2	2	4	5	5	3,15	Observado	1
Reparación de sellos de granalladora	1	4	1	5	5	2,75	Observado	1

Nuevo equipo de prueba hidrostática	5	2	4	2	3	3,4	Medido	2
Adquisición de desvalvulador nuevo	5	1	4	2	2	3,05	Medido	2
Equipos de traslado de cilindros	2	3	3	3	3	2,7	Estimado	2
Bodega de almacenamiento de insumos	1	1	3	3	4	2	Observado	2
Reemplazo de volteadores por equipos neumáticos	2	5	3	1	3	2,9	Pendiente	3
Equipo de estampado de cilindros	1	4	2	3	3	2,45	Pendiente	3
Herramienta de registro automático	1	1	3	3	2	1,8	Observado	3
Reubicación de oficina del supervisor	1	1	2	1	3	1,4	Observado	3

- C1: Intervención de restricción
- C2: Seguridad y cumplimiento
- C3: Soporte operacional
- C4: Esfuerzo implementación
- C5: Plazos y dependencias

Los resultados obtenidos permiten ordenar las iniciativas de acuerdo con su contribución al aumento de la capacidad, la reducción de desperdicios, el control de riesgos y la factibilidad de implementación. La clasificación propuesta no debe interpretarse únicamente como un orden decreciente de puntajes, dado que incorpora reglas adicionales asociadas a las dependencias técnicas, la magnitud de la inversión y la existencia de mediciones pendientes.

Las iniciativas clasificadas con prioridad inmediata corresponden a la aplicación de una solución química para la remoción de adhesivos, la recuperación de dos equipos desvalvuladores existentes, la reestructuración de las jaulas de almacenamiento y la reparación de los sellos de la máquina granalladora. Estas acciones presentan menores plazos de implementación, permiten intervenir problemas identificados durante el

diagnóstico y, en algunos casos, posibilitan validar resultados antes de comprometer inversiones de mayor magnitud.

En el nivel de prioridad alta se encuentran el nuevo equipo de prueba hidrostática, la adquisición del desvalvulador adicional, los equipos para traslado de cilindros y la habilitación de la bodega de insumos. Estas iniciativas presentan impactos relevantes, pero requieren inversión, adecuaciones técnicas o una fase previa de preparación.

Las iniciativas clasificadas con prioridad media o condicionada corresponden a los volteadores neumáticos, el equipo de estampado, la herramienta de registro automático y la reubicación de la oficina del supervisor. En el caso de los volteadores y el equipo de estampado, la clasificación es provisional y depende de la realización de evaluaciones de manipulación manual de cargas y mediciones de ruido. Si los resultados identifican una condición de riesgo no aceptable o una brecha de cumplimiento, estas medidas deberán reclasificarse como inmediatas y obligatorias.

La implementación de una herramienta de registro automática tiene como beneficio principal habilitar una trazabilidad de producción por etapa, lo cuál permitiría controlar de forma más eficiente el proceso del taller test shop, con datos de mejor calidad.

La reubicación de la oficina del supervisor es una inversión considerable, pero que tendría efectos de mejora no solo de soporte operacional, sino que significará mejorar las condiciones para la realización de reuniones del área al disponer de un espacio destinado para esto y aportar al orden de los insumos que utilizan los operadores en su labores diarias.

8.4.6 Plan de implementación por fases

A partir de la matriz de priorización, se propone ejecutar las iniciativas mediante cuatro fases. La secuencia busca estabilizar inicialmente el proceso, intervenir posteriormente las restricciones productivas y condicionar las inversiones de mayor magnitud a los resultados observados.

Fase 1: Estabilización, acciones inmediatas y cierre de brechas

La primera fase considera las iniciativas de baja complejidad, las acciones preventivas y las actividades necesarias para obtener información antes de comprometer inversiones mayores. Esta fase incluye:

- Ejecutar una prueba piloto de la solución química para la remoción de adhesivos.
- Reparar los sellos de la máquina granalladora.
- Retirar cilindros, equipos y elementos que no formen parte del proceso activo.

- Definir y señalizar las jaulas de acuerdo con el estado del cilindro.
- Implementar criterios 5S y gestión visual para los insumos.
- Estandarizar los criterios de clasificación entre Sorting y el Taller Test Shop.
- Realizar mediciones de ruido, partículas en suspensión y manipulación manual de cargas.
- Actualizar los procedimientos operacionales afectados por las modificaciones.

Durante esta fase deberán registrarse los indicadores antes y después de cada intervención. En la prueba de la solución química se deberá medir el tiempo de preparación por cilindro, el consumo unitario de producto, la calidad de la superficie tratada y la capacidad diaria alcanzada. En las iniciativas de jaulas e insumos se registrará el número de cilindros fuera del flujo activo, los errores de clasificación y el grado de cumplimiento del estándar visual.

La aplicación de criterios 5S para organizar los insumos no implica necesariamente ejecutar durante esta fase la totalidad de la inversión destinada a la bodega. La habilitación física definitiva deberá realizarse posteriormente, si la estandarización inicial demuestra que sigue siendo necesaria.

Fase 2: Intervención de las restricciones y reducción transporte

La segunda fase comienza con la recuperación, traslado y habilitación de los dos equipos desvalvuladores existentes. Una vez estabilizada su operación, se deberá medir la capacidad efectiva de la inspección interna y de la fase final, la utilización de los equipos y los tiempos de espera.

La incorporación de los equipos de traslado conjunto de cilindros también se considera en esta fase. Antes de su adquisición definitiva deberán validarse las rutas de circulación, las condiciones de seguridad, la compatibilidad con el espacio disponible y la frecuencia esperada de utilización. La evaluación posterior deberá comprobar la reducción del tiempo de traslado y determinar el uso de las horas operacionales liberadas.

La habilitación de la bodega de insumos podrá desarrollarse durante esta fase, siempre que los resultados de la intervención inicial confirmen la necesidad de infraestructura adicional y se disponga de una definición clara del sistema de almacenamiento, reposición e identificación visual.

Fase 3: Ampliación capacidad y fortalecimiento trazabilidad

La tercera fase considera la instalación del nuevo equipo de prueba hidrostática y, si los resultados de la fase anterior demuestran que la restricción persiste, la adquisición del equipo desvalvulador adicional.

La decisión de ampliar la capacidad deberá considerar los resultados obtenidos con la recuperación de los equipos existentes, debido a que la intervención inicial puede modificar la distribución de las restricciones dentro del proceso. En consecuencia, antes de efectuar la compra del nuevo desvalvulador deberá comprobarse que la etapa continúa limitando la producción global.

Paralelamente, se deberá avanzar en la digitalización del registro de producción. Se recomienda iniciar con una solución piloto en las estaciones críticas, incorporando como mínimo los siguientes datos:

- Identificación del cilindro.
- Etapa del proceso.
- Fecha y hora de entrada.
- Fecha y hora de salida.
- Resultado de la inspección o actividad realizada.
- Condición del cilindro al finalizar la etapa.

La solución tecnológica definitiva deberá seleccionarse después de comprobar la calidad, oportunidad y utilidad de los datos obtenidos durante el piloto.

Fase 4: Intervenciones condicionadas y rediseño de infraestructura

La cuarta fase considera las inversiones cuya necesidad depende de evaluaciones pendientes o de un rediseño de mayor alcance:

- Reemplazo de volteadores manuales por equipos neumáticos.
- Adquisición del equipo de estampado.
- Reubicación de la oficina del supervisor.
- Modificaciones adicionales al layout.
- Implementación definitiva de la herramienta digital.

La ubicación de estas iniciativas en la cuarta fase no elimina su importancia. Si las evaluaciones de seguridad identifican exposiciones superiores a los límites aplicables o riesgos no aceptables, los volteadores neumáticos y el equipo de estampado deberán adelantarse en la hoja de ruta y ejecutarse con carácter obligatorio.

La reubicación de la oficina del supervisor deberá efectuarse únicamente después de aprobar un layout futuro que especifique la superficie liberada, su uso operacional y la comparación con alternativas de menor inversión.

8.4.7 Seguimiento y control de las mejoras

La ejecución de las iniciativas deberá complementarse con un sistema de seguimiento que permita verificar los resultados obtenidos, identificar desviaciones y establecer acciones correctivas.

Una mejora no se considerará finalizada únicamente con la compra o instalación de un equipo. Será necesario demostrar que el nuevo estándar se encuentra implementado, que el personal lo utiliza correctamente y que genera un resultado operacional verificable.

El seguimiento considerará tres niveles:

- Cumplimiento de implementación: verificará que las actividades, recursos, capacitación y documentación comprometidos hayan sido completados.
- Resultado operacional: comprobará los cambios producidos en capacidad, tiempos, inventario en proceso, trazabilidad, orden y utilización de recursos.
- Impacto global: determinará si la iniciativa contribuye a aumentar la producción de cilindros NRRT y a reducir la diferencia respecto de los cilindros OCYL recibidos

Tabla 34: Indicadores para seguimiento efectividad de las mejoras, Fuente: Elaboración propia

DIMENSIÓN	INDICADOR	LÍNEA BASE	META O CRITERIO	FRECUENCIA INICIAL	FUENTE
Producción global	Cilindros NRRT liberados por día	73 cilindros/día	85 cilindros/día	Semanal y mensual	SAP
Flujo global	Razón entre cilindros NRRT y OCYL	86%	Tendencia hacia 100%	Mensual	SAP
Capacidad PH	Cilindros procesados mediante PH por turno	50	75	Semanal durante la estabilización	Registro por etapa
Desvalvulado	Capacidad de inspección interna y fase final	40 cilindros/turno	100 cilindros/turno, de acuerdo con la configuración propuesta	Semanal	Registro por etapa
Preparación de pintura	Capacidad por turno	64 cilindros	100 cilindros	Semanal durante la prueba piloto	Registro por etapa
Transporte	Tiempo acumulado de traslado por cilindro	6 min/cilindro	1,5 min/cilindro	Semanal durante la prueba	Estudio de tiempos

Inventario fuera del flujo	Cilindros almacenados que no forman parte del proceso activo	241 cilindros	0 cilindros	Semanal	Conteo y registro
Gestión visual	Cumplimiento del estándar de jaulas	Sin estándar consolidado	100%	Semanal y posteriormente mensual	Auditoría visual
Insumos	Cumplimiento del estándar de almacenamiento	Pendiente de medición	100% para insumos críticos	Mensual	Auditoría 5S
Trazabilidad	Porcentaje de etapas con registro digital	0%	100%	Semanal durante la implementación	Herramienta digital
Seguridad	Nivel de riesgo residual	Pendiente de evaluación	Nivel aceptable	Después de cada intervención	Evaluación de riesgos
Estandarización	Procedimientos críticos actualizados	Procedimientos con actualización del año 2008	100% vigentes	Trimestral durante la implementación	Auditoría documental

Una iniciativa se considerará implementada cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- Los recursos y actividades comprometidos fueron ejecutados.
- El personal recibió la capacitación correspondiente.
- Los procedimientos afectados fueron actualizados.
- El indicador principal presenta evidencia de mejora.
- No se generaron riesgos ni efectos adversos sobre otras etapas.
- Se definió un responsable permanente del control.
- El resultado se mantuvo durante el periodo de estabilización definido.

Cuando un indicador no alcance la meta, deberá determinarse si la desviación se relaciona con incumplimiento del método, capacitación insuficiente, falta de insumos, disponibilidad de equipos, variabilidad de la demanda, errores en los supuestos iniciales o desplazamiento de la restricción hacia otra estación.

Cada desviación deberá registrarse junto con la acción correctiva, el responsable y la fecha establecida para verificar su cierre. Si una mejora cumple su resultado local, pero no incrementa la producción global, será necesario revisar nuevamente el flujo para determinar si el cuello de botella se trasladó hacia otra etapa.

La matriz de priorización deberá actualizarse al finalizar cada fase. Esta revisión deberá considerar la producción de cilindros NRRT, la utilización de los equipos críticos, el

inventario en proceso, los resultados de las pruebas piloto, las mediciones de seguridad, la inversión efectivamente ejecutada y la eventual aparición de nuevas restricciones.

8.4.8 Síntesis del capítulo

La metodología desarrollada permitió organizar las iniciativas considerando su contribución al aumento de capacidad, la reducción de desperdicios, el control de riesgos, el esfuerzo de implementación y las dependencias técnicas. La incorporación del nivel de evidencia permitió, además, diferenciar entre beneficios medidos, observados, estimados y pendientes de verificación.

La primera fase se orienta a estabilizar el proceso, ejecutar acciones inmediatas y cerrar brechas de información. La segunda fase interviene las restricciones mediante la recuperación de equipos existentes e incorpora soluciones destinadas a reducir el transporte y mejorar el almacenamiento. La tercera fase amplía la capacidad mediante la instalación de un nuevo equipo de prueba hidrostática, condiciona la adquisición de capacidad adicional a los resultados obtenidos y fortalece la trazabilidad operacional. Finalmente, la cuarta fase concentra las intervenciones dependientes de evaluaciones de seguridad o de un rediseño de infraestructura de mayor alcance.

Esta secuencia evita comprometer simultáneamente la totalidad de los recursos y permite ajustar las decisiones de inversión conforme se obtenga nueva información. Por tanto, la priorización debe entenderse como una hoja de ruta dinámica sujeta a revisión al finalizar cada fase, y no como una aprobación automática de toda la cartera de iniciativas.

El principal resultado esperado es reducir progresivamente la diferencia entre el promedio de 85 cilindros OCYL recibidos por día y los 73 cilindros NRRT liberados diariamente. No obstante, el cierre de esta brecha no dependerá exclusivamente de la incorporación de nuevos equipos. También requerirá estabilizar el flujo, controlar el inventario en proceso, asegurar la disponibilidad de insumos, fortalecer la trazabilidad y mantener los estándares operacionales definidos.

En consecuencia, la priorización propuesta transforma los resultados del diagnóstico en un plan de acción gradual, medible y sujeto a condiciones de avance. De esta manera, se responde al objetivo de proponer mejoras de corto y largo plazo, evaluar su factibilidad técnica y económica, definir indicadores para cuantificar su efectividad y establecer mecanismos que contribuyan a mantener la disciplina operacional en el Taller Test Shop.

9 Conclusiones y Recomendaciones

La aplicación de herramientas Lean permitió caracterizar el desempeño actual del Taller Test Shop e identificar las principales restricciones que limitan su capacidad de procesamiento. Los resultados obtenidos demuestran que la disponibilidad de cilindros aptos para llenado no depende exclusivamente de la capacidad instalada, sino también de factores asociados al flujo operacional, la estandarización de actividades, la gestión de insumos, la utilización del espacio y la calidad de la información utilizada para la toma de decisiones.

El análisis efectuado permitió confirmar que las principales restricciones del sistema se concentran en la prueba hidrostática, los equipos desvalvuladores y la preparación de pintura. Asimismo, se evidenció la existencia de desperdicios asociados al transporte manual de cilindros, almacenamiento no estandarizado, clasificación incorrecta de materiales y registros operacionales manuales, los cuales afectan la productividad global del proceso.

Las propuestas formuladas permiten abordar tanto las restricciones de capacidad como las oportunidades de mejora operacional identificadas durante el diagnóstico. La evaluación económica realizada indica que las inversiones asociadas al aumento de capacidad presentan resultados favorables en los escenarios analizados, mientras que las iniciativas de eficiencia operacional contribuyen a mejorar el aprovechamiento de los recursos existentes y fortalecer la gestión del proceso.

Finalmente, se concluye que la mejora sostenida del Taller Test Shop requiere una visión integral, combinando inversiones en equipamiento con acciones de estandarización, gestión visual, control operacional, desarrollo de indicadores y fortalecimiento de la cultura de mejora continua. La metodología desarrollada proporciona una hoja de ruta estructurada para orientar futuras decisiones de inversión y aumento de productividad.

Se recomienda implementar las mejoras propuestas de manera gradual, comenzando por aquellas iniciativas de bajo esfuerzo y alto impacto, tales como la aplicación de la solución para remoción de adhesivos, la recuperación de equipos desvalvuladores existentes, la estandarización de las jaulas de almacenamiento y la reparación de los sellos de la máquina granalladora. Estas acciones permitirán obtener resultados tempranos y validar los supuestos considerados en la evaluación.

Asimismo, se recomienda avanzar progresivamente en la ampliación de capacidad mediante la incorporación de un nuevo equipo de prueba hidrostática y la evaluación posterior de la necesidad de equipamiento adicional, utilizando indicadores de desempeño que permitan verificar la persistencia de las restricciones identificadas.

Resulta igualmente necesario fortalecer los mecanismos de control y trazabilidad operacional. Para ello se recomienda implementar registros digitales por etapa, actualizar los procedimientos operacionales y establecer un sistema de seguimiento basado en indicadores que permita medir objetivamente la efectividad de las mejoras implementadas. Finalmente, se recomienda complementar las mejoras operacionales con la ejecución de las evaluaciones pendientes en materia de ruido, material particulado y ergonomía, de manera de asegurar que las futuras decisiones de inversión consideren tanto criterios de productividad como de seguridad y cumplimiento normativo. La sostenibilidad de los resultados dependerá de mantener la disciplina operacional, la revisión periódica de los indicadores y la participación activa de todos los actores involucrados en el proceso.

Bibliografía

- Deshmukh, M., Gangele, A., Kumar Gope, D., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings* 62, 1489-1495.
- EIGA. (2019). Cylinder Retest Stations. *DOC 079/19*.
- Haider, A. M. (2015). An implementation of lean scheduling in a job shop environment. *Advances in Production Engineering&Management*, 5-17.
- Hammedi, S., Elmeliani, J., & Nabli, L. (2025). Optimizing resource allocation in job shop production systems with seasonal demand patterns. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems*, 12-25.
- Indura, A. P. (2025). *Manual de Gases*. Santiago.
- Ker, J.-I., Mani Shrestha, C., Wang, Y., & Lee, H.-Y. (2014). Implementing Lean Manufacturing to improve compressed gas and liquid filling efficiency. *Flexible automation and intelligent manufacturing*.
- Kumar, N., Shahzeb, H., Srivastava, K., Akhtar, R., & Kumar Yadav, R. (2022). Lean Manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 1188-1192.
- Marulanda Grisales, N., & González Gaitán, H. H. (2017). Objetivos y decisiones estratégicas operacionales como apoyo al lean manufacturing. *Suma de Negocios*, 106-114.
- Romero, L., & Arce, A. (2017). Applying Value Stream Mapping in manufacturing: A systematic literature review. *International Federation of Automatic Control (IFAC)*, 1075-1086.
- Salwin, M., Jacyna-Golda, I., Banka, M., Varanchuk, D., & Gavina, A. (2021). Using value stream mapping to eliminate waste: A case study of a steel pipe manufacturer. *Energies*.
- Silambi, Y. P., & Indiyanto, R. (2024). Lean manufacturing analysis to minimize waste on the production process at CV.ABC. *Indonesian Journal of Computer Science*, 707-719.
- Valle Antunes Junior, J., & Roehe Vaccaro, G. (2019). Exploring the integration between Lean and the theory of constraints in Operations Management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 718-742.

- Walid, A., & Hassan, A.-F. (2024). Evaluation of the performance of operations managements in the industrial sector at the national gas and industrialization company (GASCO), headquartered in Riyadh City, Saudi Arabia. *International Journal for Scientific Research*, 311-360.
- rulandamM., Gangele, A., Kumar Gope, D., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings* 62, 1489-1495.
- Hammedi, S., Elmeliani, J., & Nabli, L. (2025). Optimizing resource allocation in job shop production systems with seasonal demand patterns. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems*, 12-25.
- Ker, J.-I., Mani Shrestha, C., Wang, Y., & Lee, H.-Y. (s.f.). Implementing Lean Manufacturing to improve compressed gas and liquid filling efficiency.
- Kumar, N., Shahzeb, H., Srivastava, K., Akhtar, R., & Kumar Yadav, R. (2022). Lean Manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 1188-1192.
- Marulanda Grisales, N., & González Gaitán, H. H. (2017). Objetivos y decisiones estratégicas operacionales como apoyo al lean manufacturing. *Suma de Negocios*, 106-114.
- Silambi, Y. P., & Indiyanto, R. (2024). Lean manufacturing analysis to minimize waste on the production process at CV.ABC. *Indonesian Journal of Computer Science*, 707-719.
- Walid, A., & Hassan, A.-F. (2024). Evaluation of the performance of operations managements in the industrial sector at the national gas and industrialization company (GASCO), headquartered in Riyadh City, Saudi Arabia. *International Journal for Scientific Research*, 311-360.

10 Anexos