

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción de merma en la línea de producción de oxígeno en una empresa
de producción de gases medicinales e industriales

INGE-2775

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Bryan Rafael Ramos Villegas

Christopher Austin Muentes Guamán

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios quien me ha permitido llegar a esta etapa de mi vida y me ha brindado la sabiduría necesaria para cumplir cada una de mis metas.

Mi mamá Mariela Villegas quien siempre ha sido un apoyo incondicional a lo largo de la carrera, con sus enseñanzas y amor ha forjado una excelente persona y profesional, mi papá Sandro Ramos quien siempre ha sido mi ejemplo a seguir y me ha enseñado a esforzarme por las cosas que quiero y me ha apoyado en todo lo que necesito, mi hermana Karen Ramos quien me brinda su cariño y siempre ha estado para mí en todo momento. Esto es para ustedes.

Con amor y cariño,

Bryan Rafael Ramos Villegas

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi hija quien es mi principal fuente de inspiración, mi madre Verónica Guamán que creyó en mi desde el primer hasta el último minuto y quien me apoyo incondicionalmente en mis logros y fracasos, mi padre Joffre Muentes quién a su manera me brindo su amor y guía siempre que lo necesitaba, mis hermanos Joffre y Mateo mis mejores amigos, Mi pareja Brittany quien me dio su amor y apoyo en varios momentos difíciles de mi vida, mi ángel en el cielo mi Mami Luz que siempre confió que su “Cholo” lo lograría, demás familiares y amigos quienes nunca dudaron de mí.

Esto es por y para ustedes, con amor y cariño.

Christopher Muentes

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis tíos quienes siempre me han ayudado en mi estadía durante mi vida universitaria.

Mi abuelo, Juan Pedro Villegas quien siempre se ha preocupado por mí y me ha brindado su apoyo.

Mi amigo y compañero de tesis, Christopher Muentes a quien conozco desde el pre y con quien tengo la oportunidad de culminar una etapa académica importante, con sus conocimientos y apoyo hemos logrado culminar este importante trabajo.

Finalmente, agradecer a los profesores de la carrera quienes nos han impartido sus conocimientos que nos ayudaran a crecer como buenos profesionales.

Bryan Rafael Ramos Villegas

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a:

Mis padres quienes sacrificaron muchas cosas para que lograra esta meta.

Mis tíos Ingrid y Vicente junto con mis primos Ángel, Milena y Zulay quienes me acogieron muchas veces en su hogar y me trataron como un hijo y hermano más.

Mis abuelos Deysi, Gabriel y Ángel porque siempre han sido atentos y han mostrado preocupación por mí.

Mis amigos que siempre han estado ahí para aconsejarme.

Mi compañero, amigo y ahora colega Bryan Ramos a quien tuve la suerte de conocerlo desde el pre y desde ese momento me brindo su apoyo semestre a semestre.

Finalmente, agradezco a cada uno de los profesores quienes me ayudaron a crecer profesionalmente.

Christopher Muentes.

Declaración Expresa

Nosotros Christopher Austin Muentes Guamán y Bryan Rafael Ramos Villegas, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 8 de octubre del 2024.



Christopher Austin
Muentes Guamán



Bryan Rafael Ramos
Villegas

Evaluadores

Sofia Anabel López Iglesias, MSc.

Profesor de Materia

Ingrid Elsa Adanaqué Bravo, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

Se procedió a la aplicación de la metodología DMAIC en una empresa dedicada a la fabricación y distribución de gases medicinales e industriales, donde el alto porcentaje de merma mensual de oxígeno estuvo impactando la línea de producción, encontrando cifras superiores al 3%, por encima del 1.65% de merma esperada para esta línea. El objetivo de este proyecto fue minimizar la merma que se produce en la línea en al menos un 15%.

Para ello se identificó las necesidades del cliente, las principales causas raíces que impactan en la merma del oxígeno y con ello se plantearon 4 soluciones, la primera la recolección del oxígeno atrapado en la línea al finalizar la jornada de trabajo en una canastilla libre, la segunda la estandarización de las presiones de llenado y finalmente la actualización del diagrama de flujo del proceso de llenado con sus respectivos manuales de procedimientos.

Con la puesta en marcha de las soluciones mencionadas anteriormente se logró reducir el porcentaje de merma de oxígeno, pasando de un 2.072% a un 1.758% logrando una reducción del 16.4%, cumpliendo con el objetivo trazado inicialmente, permitiendo recuperar 157,87 kg/mes de oxígeno que antes se liberaba al ambiente y generando ganancias de al menos \$11.566,94 con la implementación de las soluciones.

Palabras claves: DMAIC, oxígeno, merma, línea de producción, reducción.

Abstract

The DMAIC methodology was applied in a company dedicated to the manufacture and distribution of medical and industrial gases, where the high percentage of monthly oxygen loss was impacting the production line, finding figures above 3%, above the 1.65% loss expected for this line. The objective of this project was to minimize the waste produced in the line by at least 15%.

To this end, the customer's needs were identified, the main root causes that impact on oxygen depletion, and four solutions were proposed, the first being the collection of oxygen trapped in the line at the end of the workday in a free basket, the second the standardization of filling pressures, and finally the updating of the filling process flow chart with its respective procedure manuals.

With the implementation of the aforementioned solutions, the percentage of oxygen loss was reduced from 2.072% to 1.758%, achieving a reduction of 16.4%, meeting the initial objective, allowing the recovery of 157.87 kg/month of oxygen that was previously released into the environment and generating profits of at least \$11,566.94 with the implementation of the solutions.

Key words: DMAIC, oxygen, losses, production line, reduction.

Índice General

Resumen	I
Abstract	II
Abreviaturas	VI
Simbologías	VII
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Metodología DMAIC.....	4
1.4.2 Voz del Cliente	6
1.4.3 SIPOC	6
1.4.4 Críticos para la Calidad (CTQ)	7
Capítulo 2	8
2. Metodología.....	9
2.1 Definición.....	9
2.1.1 Situación actual.....	9
2.1.2 Alcance.....	10
2.1.3 Mapeo del proceso	11
2.1.4 Voz del cliente	14
2.1.5 Críticos para la calidad.....	15
2.1.6 Métricas de sostenibilidad	17
2.1.7 Declaración del problema y oportunidad.....	18
2.2 Medición	18
2.2.1 Plan de recolección de datos	18
2.2.2 Análisis de confiabilidad de los datos.	20

2.2.3	Grafica de control.....	26
2.2.4	Análisis de Capacidad.....	27
2.2.5	Estratificación.....	28
2.2.6	Problema enfocado.....	30
2.3	Análisis	31
2.3.1	Lluvia de ideas.....	31
2.3.2	Diagrama de Ishikawa	32
2.3.3	Matriz Causa-Efecto	32
2.3.4	Matriz Impacto-Esfuerzo.....	34
2.3.5	Plan de verificación de causas	35
2.3.6	Análisis causa raíz.....	40
2.4	Mejora.....	41
2.4.1	Soluciones propuestas.....	41
2.4.2	Análisis Financiero.....	42
2.4.3	Matriz Impacto – Esfuerzo	43
2.4.4	Selección de Soluciones.....	44
2.4.5	Plan de implementación	44
2.5	Implementación.....	46
2.5.1	Liberación del oxígeno contenido en la línea en una canastilla con envases vacíos: 46	
2.5.2	Estandarización de las presiones de llenado de GOX:.....	51
2.5.3	Actualización de diagrama de flujo del proceso de llenado de GOX:.....	53
2.5.4	Actualización de manuales de procedimientos del proceso de llenado de GOX: 53	
2.5.5	Capacitación del personal.....	54
Capítulo 3	56
3.	Resultado de soluciones.....	57
3.1.1	Mejora del proceso: Serie de Tiempo	57

3.1.2	Prueba de normalidad	58
3.1.3	Grafica de Control.....	59
3.1.4	Análisis de Capacidad.....	60
3.2	Triple Bottom Line	61
3.2.1	Económico	61
3.2.2	Social.....	61
3.2.3	Ambiental	62
3.3	Plan de control	63
Capítulo 4	64
4.	Conclusiones y Recomendaciones	65
4.1	Conclusiones.....	65
4.2	Recomendaciones	65
Bibliografía	65
Apéndice	67

Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
GOX	Oxígeno Gaseoso
LOX	Oxígeno Líquido
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora, Almacenamiento
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers
SSystem	Sistema de información interno de la compañía
VOC	Voice of Customer

Simbologías

Atm	Atmosfera
D	Diámetro
kWh	Kilovatios hora
kg	Kilogramos
K	Grados Kelvin
L	Litros
l	Longitud
m ³	Metros cúbicos
n	Número de moles
Pa	Pascal
P	Presión
T	Temperatura
V	Volumen

Índice de figuras

Figura 1 <i>Merma porcentual en la línea de oxígeno</i>	3
Figura 2 <i>Mapa de procesos de la compañía</i>	10
Figura 3 <i>SIPOC de la empresa</i>	10
Figura 4 <i>OTIDA Llenado producción gaseosa en cilindros industriales</i>	11
Figura 5 <i>Porcentaje de actividades según su clasificación del proceso 1</i>	12
Figura 6 <i>OTIDA Llenado producción gaseosa en cilindros medicinales</i>	13
Figura 7 <i>Porcentaje de actividades según su clasificación del proceso 2</i>	14
Figura 8 <i>Diagrama de afinidad de las necesidades del cliente</i>	15
Figura 9 <i>CTQ Tree</i>	16
Figura 10 <i>Definición del problema con la metodología 3W+2H</i>	18
Figura 11 <i>Oxígeno reprocesado en el sistema</i>	21
Figura 12 <i>Prueba de igualdad de medias de datos históricos y muestra.</i>	23
Figura 13 <i>Diagrama de Caja de datos históricos y la muestra</i>	24
Figura 14 <i>Prueba de normalidad de la variable de respuesta</i>	25
Figura 15 <i>Pruebas de normalidad de las variables volumen de producción, oxígeno utilizado para la producción y materia prima abastecida, y prueba de aleatoriedad del reproceso.</i>	26
Figura 16 <i>Carta de control I-MR de la variable de respuesta</i>	27
Figuras 17 <i>Análisis de capacidad de la variable de respuesta</i>	28
Figura 18 <i>Consumo porcentual según el estado del producto</i>	28
Figura 19 <i>Comparativa de la porción de merma atribuida a cada producto según el estado del producto</i>	29
Figura 20 <i>Volumen de producción promedio según el tipo de proceso</i>	30
Figura 21 <i>Definición del problema enfocado usando la herramienta 3W + 2H.</i>	31
Figura 22 <i>Lluvia de ideas</i>	31
Figura 23 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	32
Figura 24 <i>Diagrama de Pareto</i>	34
Figura 25 <i>Matriz Impacto-Esfuerzo</i>	34
Figura 26 <i>Fugas en bombas y tuberías</i>	35
Figura 27 <i>Medidores de presión</i>	36
Figura 28 <i>Purga del oxígeno</i>	36
Figura 29 <i>Daños en los medidores</i>	37

Figura 30 <i>Mala calibración del medidor</i>	37
Figura 31 <i>Toma de presión</i>	38
Figura 32 <i>Defectos en el envase</i>	38
Figura 33 <i>Daños en la válvula</i>	39
Figura 34 <i>Análisis de Priorización</i>	43
Figura 35 <i>Selección de Soluciones</i>	44
Figura 36 <i>Implementación de canastilla libre</i>	46
Figuras 37 <i>Implementación de soluciones</i>	55
Figura 38 <i>Merma porcentual de la línea de oxígeno con implementación de soluciones</i>	57
Figura 39 <i>Prueba de normalidad con implementación de soluciones</i>	58
Figura 40 <i>Gráfica de control con implementación de soluciones</i>	59
Figura 41 <i>Análisis de capacidad con implementación de mejoras</i>	60
Figura 42 <i>Beneficios esperados de la implementación de las soluciones</i>	61
Figura 43 <i>Satisfacción de los operadores</i>	62
Figura 44 <i>Consumo de energía reducida</i>	62

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tabla resumen del proceso 1</i>	12
Tabla 2 <i>Tabla resumen del proceso 2</i>	14
Tabla 3 <i>Plan de recolección de datos</i>	19
Tabla 4 <i>Detalles de los datos y correcciones</i>	20
Tabla 5 <i>Tamaño de la muestra.</i>	22
Tabla 6 <i>Ponderaciones matriz causa-efecto</i>	33
Tabla 7 <i>Matriz Causa-Efecto</i>	33
Tabla 8 <i>Plan de verificación de causas</i>	35
Tabla 9 <i>Presiones de trabajo</i>	40
Tabla 10 <i>Análisis 5 porqué de las causas potenciales</i>	40
Tabla 11 <i>Soluciones propuestas</i>	41
Tabla 12 <i>Análisis Financiero</i>	42
Tabla 13 <i>Criterios de Clasificación</i>	43
Tabla 14 <i>Análisis de Priorización</i>	43
Tabla 15 <i>Soluciones Seleccionadas</i>	44
Tabla 16 <i>Plan de implementación</i>	45
Tabla 17 <i>Plan de Control</i>	63

Capítulo 1

1. Introducción

El proyecto fue desarrollado en una empresa dedicada a la fabricación, distribución y comercialización de gases industriales y medicinales, ubicada en la vía Durán – Tambo. Esta empresa ecuatoriana fue fundada a finales del año 2011 con el objetivo de cubrir las necesidades de la industria y de los hospitales del país. Cuenta con una moderna planta denominada “Planta ASU” y maquinarias de alta tecnología, lo que permite la producción de gases como Nitrógeno, Oxígeno, Argón, y Acetileno.

La planta tiene la capacidad de producir gases en estado líquido y gaseoso, con una capacidad de producción de 62 toneladas diarias de gases del aire. En el proyecto se planteó la implementación de una solución para reducir las mermas generadas en la línea de producción, con el fin de mejorar los procesos operativos de la empresa y beneficiar económicamente a la empresa mediante la reducción de pérdidas de producto durante el proceso operativo.

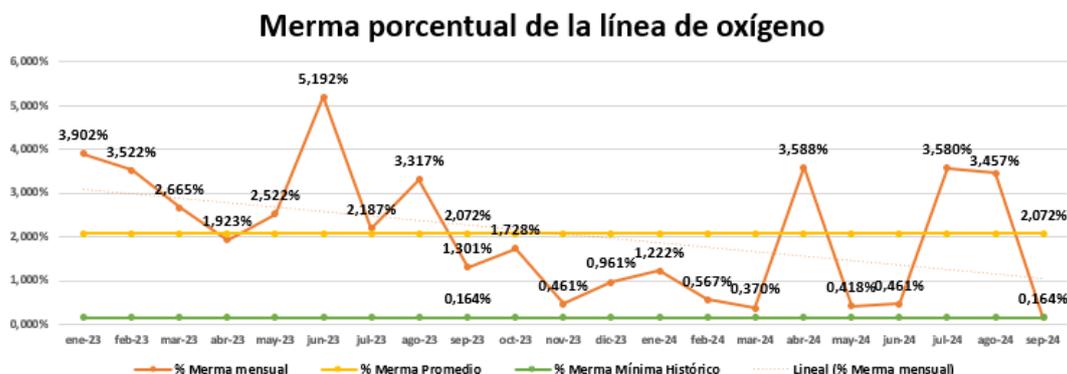
1.1 Descripción del problema

La empresa dedicada a la fabricación, distribución y comercialización de gases industriales y medicinales actualmente está presentando altos porcentajes de merma en su línea de producción de oxígeno. Este problema afecta la eficiencia de la línea de producción, debido a que se pierde producto valioso y con ello se envasan menos cilindros de los necesarios. Por lo tanto, se busca disminuir el porcentaje de merma en la línea de producción de oxígeno.

En la figura 1, se puede evidenciar una serie de tiempo que muestra el comportamiento de la merma porcentual en la línea de oxígeno. Desde enero del 2023

hasta septiembre del 2024 se puede evidenciar como existen valores mayores al promedio que es de 2.072% y una merma mínima historia durante ese periodo que es de 0.164%.

Figura 1 Merma porcentual en la línea de oxígeno



1.2 Justificación del problema

Los altos valores de merma en la línea de producción de oxígeno en una empresa de fabricación, comercialización y distribución de gases industriales y medicinales, están superando los porcentajes esperados por la empresa quienes contemplan un valor porcentual de merma fijado en 1.65%. Por lo tanto, la necesidad de disminuir este porcentaje de pérdida es muy importante de manera que se tengan un impacto positivo en los procesos operativos de dicha empresa, así como cumplir con la demanda esperada y principalmente disminuir las pérdidas económicas por merma de producto gaseoso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Reducir el porcentaje de merma en la línea de llenado de Oxígeno en un 15% pasando de 2,07% al 1,79% mediante la aplicación de la metodología DMAIC en un lapso de 3 meses.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar actividades críticas en el proceso de llenado de Oxígeno medicinal e industrial.
- Analizar los datos obtenidos mediante herramientas de control estadístico para determinar si el proceso de llenado está bajo control.
- Utilizar herramientas de mejora continua para identificar y cuantificar las causas potenciales de variación que afectan al proceso.
- Implementar mejoras y un plan de seguimiento para controlar las pérdidas en la línea de Oxígeno.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC que se enfoca en la mejora continua, permite desarrollar técnicas que posibilitan optimizar los procesos, mejorar la productividad y competitividad de las empresas. Nacida cerca de los años ochenta e implementada en la empresa Motorola, esta metodología ofrece soluciones reales a corto plazo, está compuesta por cinco fases: Definición, Medición, Análisis, Mejoras y Control. Esta herramienta permite reconocer los aspectos críticos de los clientes que son los ayudaran a mejorar los procesos. (Navarro Albert, Gisbert Soler, & Pérez Molina, 2017)

Definición: Esta fase es la más importante dentro de la metodología DMAIC, puesto que, es la línea base del proyecto a desarrollar, se identifican las necesidades, y se reconocen los requerimientos del cliente, las cuales en conjunto forman las características críticas para la calidad (CTQ) los cuales son parámetros esenciales para lograr la satisfacción del cliente (Pronavi & Umasankar, 2021). En esta etapa, se define claramente

el problema que se intentara resolver, el contexto del proceso, el impacto del problema en el proceso y los parámetros asociados a este problema.

Medición: En esta etapa una vez reconocida la situación actual del problema se busca medir el desempeño actual del proceso que se busca mejorar (García González, Paredes Castañeda, & Bayona Ibáñez, 2023), se mide el proceso con la finalidad de analizar la variación de este, aquí se aplica la estadística descriptiva, se calcula tamaño de muestras, se realizan pruebas de hipótesis, se comprueba la estabilidad del proceso mediante el uso de graficas de control estadístico y se evalúa capacidad del proceso, es decir, se busca determinar si este a corto o largo plazo es capaz de cumplir con los requerimientos establecidos por el cliente interno (Gómez Bolívar, 2019).

Análisis: Esta fase consiste analizar los datos obtenidos del estado actual del proceso, con el fin de identificar y verificar las causas raíz que inciden directamente en el problema para finalmente encontrar oportunidades de mejora, para esto se hace uso de diversas herramientas que ayudan al reconocimiento de las causas como el diagrama Ishikawa, matriz causa efecto, matriz de priorización, Gemba, entre otros. (Baro, Piña, Valdiviezo, & Amaya, 2020).

Mejora: En esta etapa se desarrollan detalladamente las mejoras propuestas a cada una de las causas raíz asociadas al problema principal, se validan mediante pruebas piloto e implementan en el proceso con la ayuda de un plan de acción (Ocampo & Pavón, 2012). En adición, se debe evaluar la viabilidad de las propuestas, ya que se debe buscar una solución que menos esfuerzo implique y que sea sostenible a través del tiempo.

Control: Aquí se busca verificar y comprobar la respuesta que tuvo el proceso ante la implementación de las mejoras, mediante el uso de análisis de control estadísticos de procesos, se analizan la eficacia de las acciones comparando la información levantada al inicio del proyecto con el resultado obtenido post implementación, también se crean

planes de seguimiento con la finalidad de sostener el resultado de la implementación de la mejora en el tiempo y que esta no se convierta en una causa especial de mejora (Calla, Maldonado, Rodríguez, Farfán, & Quispe, 2023).

1.4.2 Voz del Cliente

La voz de cliente o conocida comúnmente como VoC por sus siglas en inglés (Voice of costumers), es una de las herramientas mayormente utilizadas en los proyectos de mejora continua debido a su utilidad, puesto que esta permite relacionarse a los individuos o la empresa con el público objetivo. Esta consiste en escuchar, recopilar y analizar las expectativas, opiniones, reflexiones y experiencias de los clientes para poder entender que estos esperan (Connecting Visions, 2022), La interpretación del VoC según Landero (2013) sigue tres fases: La primera consiste en la recopilación de información a partir de fuentes primarias como encuestas y entrevistas esto deben ser diseñadas de acuerdo a la situación que se desea conocer en la empresa, la segunda es la organización de la información esta consiste en agrupar las ideas obtenidas de la primera etapa con la finalidad de obtener puntos críticos del producto o servicio y la última etapa se basa en la interpretación de la información con esto se busca traducir las declaraciones del cliente en especificaciones del producto o servicio.

Todo esto con la finalidad de facilitar el planteamiento y comprensión de la situación actual, y los objetivos que se planean conseguir mediante seguimiento estratégico.

1.4.3 SIPOC

SIPOC en proyectos de mejora es una herramienta que aporta en la identificación esquemática de los elementos claves dentro de un proceso, es empleada para determinar a los proveedores, insumos o entradas, el proceso bajo estudio, las salidas o productos y los clientes, de esta manera se convierte en una guía del alcance que tiene

el proceso, de tal manera que ayuda a delimitar un proyecto complejo. Es una herramienta de diagramación intuitiva, dado que es una conexión de pasos y elementos que se preceden, ya que muestra quien suministra los insumos, que tipo de insumo se entrega, a que proceso se entrega, que, y a quién entrega ese proceso, y como se relaciona este proceso con el sistema global de la empresa (Brown, 2019).

1.4.4 Críticos para la Calidad (CTQ)

El CTQ (Critical to quality) o Críticos para la Calidad son características cuantificables que relacionan métricas o puntos focales estratégicos de un producto o proceso definidos a partir de las necesidades del cliente con los objetivos del proyecto, estas métricas se convierten en parámetros que permiten cuantificar los requerimientos del cliente, que en su mayoría surgen a partir de un VOC (Aguwa, Hessam Olya, & Monplaisir, 2017), dichos requerimientos son obtenidos inicialmente como datos cualitativos y con la ayuda de un árbol de CTQs se terminaran traduciendo en las especificaciones requeridas para el producto, servicio o proceso (OPEX MENTOR, 2022).

Capítulo 2

2. Metodología

Teniendo en cuenta que se va a utilizar la metodología DMAIC la cual nos permite tener una visión clara de las necesidades del cliente y sus requerimientos. A continuación, se procede a detallar las etapas involucradas en dicha metodología conociendo que la primera de ella es la etapa de definición.

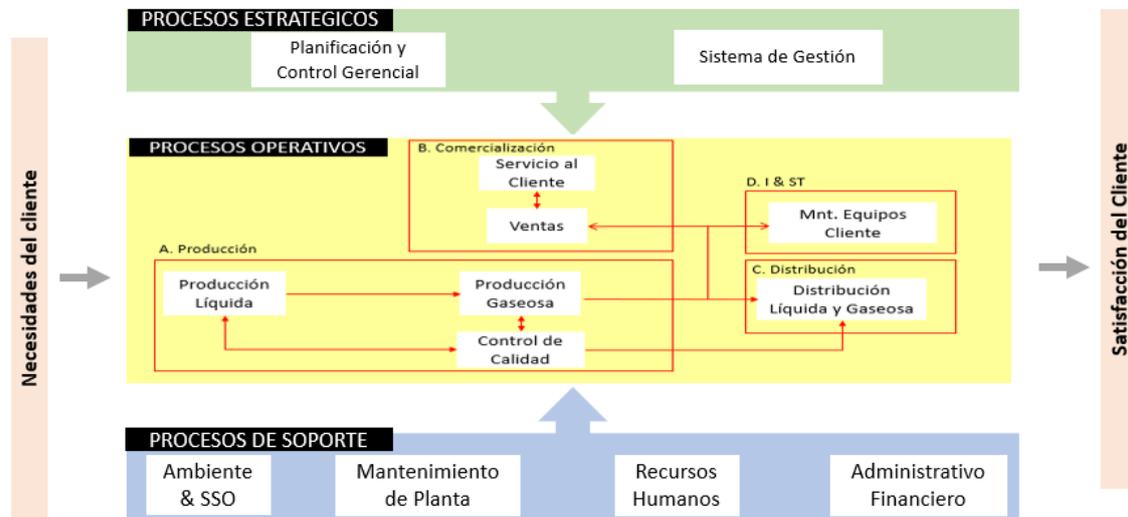
2.1 Definición

Para esta primera etapa se comenzó detallando los antecedentes de la empresa donde se realiza el proyecto, poniendo en contexto las principales actividades, productos y clientes con los que cuenta, se mapearon las principales actividades relacionadas con la problemática, mediante entrevista con los principales actores de los procesos se identificaron sus necesidades, con ello se pudo establecer de manera correcta la declaración del problema.

2.1.1 Situación actual

Con la ayuda del macroproceso de la empresa se pudo conocer cuáles son los principales procesos que se manejan en la empresa, identificando los procesos estratégicos, operativos y de soporte, y la relación que existe entre ellos. En la figura 2 se puede evidenciar dicho macroproceso, señalando que nuestro estudio se va a centrar en el área de producción de la empresa.

Figura 2 Mapa de procesos de la compañía



2.1.2 Alcance

Para conocer de una manera más clara como se relaciona el proceso con la problemática principal se procede a realizar un SIPOC de la empresa, donde se identifican las actividades que se realizan durante el proceso de producción, pudiendo mencionar que nuestro enfoque estará centrado en las actividades que comprenden desde la gasificación hasta el control de calidad, específicamente en la línea de producción de oxígeno de la empresa.

Figura 3 SIPOC de la empresa

← PROVEEDORES	ENTRADAS / INSUMOS	⚙️ SUBPROCESOS	SALIDAS / PRODUCTOS	👤 CLIENTES
Gas separation equipment (ASU Plant – Air Separation Unit).	Aire ambiental Energía eléctrica Agua	Compresión del aire Filtración y purificación Enfriamiento Separación criogénica Almacenamiento	Oxígeno	Hospitales Cameroneras
Operational and technical personal.	Cilindros de alta presión	Gasificación Envasado	Cilindros etiquetados	Industrias Alimenticias
Control Department	Sistema de control de Calidad	Etiquetado Control de Calidad	Reportes de control de calidad y certificados de pureza.	Empresas Industriales
Technology Department	Data de producción/consumo	Despacho	Reportes de producción/consumo	

2.1.3 Mapeo del proceso

Una vez establecido el alcance del proyecto, se procedió con el mapeo de los procesos principales relacionados al problema los cuales son: el llenado de producción gaseoso en cilindros industriales y el llenado de producción gaseoso en cilindros medicinales.

En la figura 4 se puede visualizar el primer proceso mencionado, el cual comprende un total de 30 actividades y una vez clasificado cada actividad según su clasificación si agrega valor, no agrega valor o no agrega valor, pero es necesario se obtuvo como resultado que el 36% de las actividades agregan valor mientras que el 57% no agregan valor.

Por consecuente, en la figura 6 se tiene el segundo proceso mencionado, el cual tiene un total de 34 actividades, es similar al proceso anterior, pero se agregan actividades al final del proceso, para este se obtuvo que el 32% de las actividades agregan valor, el 62% no agregan valor y 6% no agregan valor, pero son necesarias.

Figura 4 OTIDA Llenado producción gaseosa en cilindros industriales

No.	Actividad	AV/NAV/NAVN	O	T	I	D	A
1	Espera de preparación de canastilla y cilindros	NAV					1
2	Dirigirse hacia la zona de las bombas y tanques	NAVN		1			
3	Abrir las válvulas de las bombas para su enfriamiento	AV	1				
4	Dirigirse hacia la zona de llenado	NAVN		2			
5	Ajustar los chicotes a los envases	AV	2				
6	Abrir las válvulas de los envases	AV	3				
7	Abrir las líneas de llenado	AV	4				
8	Abrir válvula de paso	NAVN	5				
9	Crear lote de producción en el sistema ICC	NAVN					1
10	Pistolear y asociar envases y racks al sistema	AV	6				
11	Remover etiquetas y sellos deteriorados	NAVN	7				
12	Pegar nuevas etiquetas	AV	8				
13	Verificar si existen fugas en las válvulas de los envases	AV				1	
14	Verificar temperatura de los envases	NAVN				2	
15	Espera a que se complete el llenado de envases	NAV					2
16	Verificar presión de llenado	AV				3	
17	Dirigirse hacia la zona de las bombas y tanques	NAVN		3			
18	Apagar la bomba	NAVN	9				

19	Cerrar válvulas de las bombas	NAVN	10				
20	Dirigirse hacia la zona de llenado	NAVN	11				
21	Cerrar válvulas de las líneas de llenado	NAVN	12				
22	Cerrar válvulas de los envases	NAVN	13				
23	Purgar el oxígeno restante en la línea de llenado	NAVN	14				
24	Desajustar chicotes de los envases	NAVN	15				
25	Verificar si existen fugas en las válvulas de los envases	AV			4		
26	Colocar nuevos sellos termo encogibles	AV	16				
27	Quemar los sellos con la pistola de calor	AV	17				
28	Pistolear y registrar los envases a despachar	NAVN	18				
29	Generar orden de producción en el sistema	NAVN					2
30	Comprobar que se haya realizado el movimiento	NAVN			5		

Figura 5 *Porcentaje de actividades según su clasificación del proceso 1*

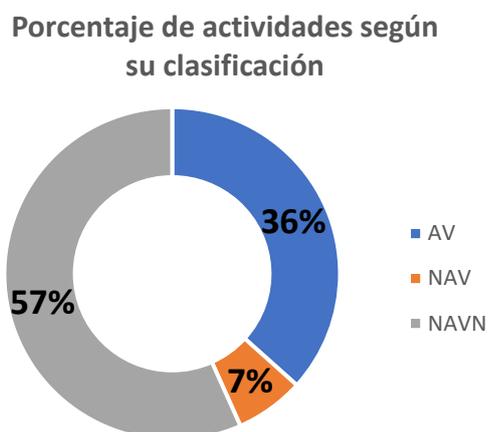
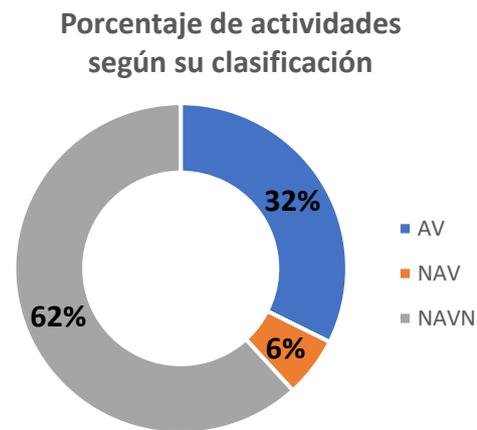


Tabla 1 *Tabla resumen del proceso 1*

Tipo	Cantidad
AV	11
NAV	2
NAVN	17

Figura 6 OTIDA Llenado producción gaseosa en cilindros medicinales

No.	Actividad	AV/NAV/NAVN	O	T	I	D	A
1	Espera de preparación de canastilla y cilindros	NAV				1	
2	Dirigirse hacia la zona de las bombas y tanques	NAVN		1			
3	Abrir las válvulas de las bombas para su enfriamiento	AV	1				
4	Dirigirse hacia la zona de llenado	NAVN		2			
5	Ajustar los chicotes a los envases	AV	2				
6	Abrir las válvulas de los envases	AV	3				
7	Abrir las líneas de llenado	AV	4				
8	Abrir válvula de paso	NAVN	5				
9	Crear lote de producción en el sistema ICC	NAVN					1
10	Pistolear y asociar envases y racks al sistema	AV	6				
11	Remover etiquetas y sellos deteriorados	NAVN	7				
12	Pegar nuevas etiquetas	AV	8				
13	Verificar si existen fugas en las válvulas de los envases	AV			1		
14	Verificar temperatura de los envases	NAVN			2		
15	Espera a que se complete el llenado de envases	NAV				2	
16	Verificar presión de llenado	AV			3		
17	Dirigirse hacia la zona de las bombas y tanques	NAVN		3			
18	Apagar la bomba	NAVN	9				
19	Cerrar válvulas de las bombas	NAVN	10				
20	Dirigirse hacia la zona de llenado	NAVN	11				
21	Cerrar válvulas de las líneas de llenado	NAVN	12				
22	Cerrar válvulas de los envases	NAVN	13				
23	Purgar el oxígeno restante en la línea de llenado	NAVN	14				
24	Desajustar chicotes de los envases	NAVN	15				
25	Verificar si existen fugas en las válvulas de los envases	AV			4		
26	Colocar nuevos sellos termo encogibles	AV	16				
27	Quemar los sellos con la pistola de calor	AV	17				
28	Pistolear y registrar los envases a despachar	NAVN	18				
29	Generar orden de producción en el sistema	NAVN					2
30	Comprobar que se haya realizado el movimiento	NAVN			5		
31	Generar lote de identificación con sus m^3 y fecha de caducidad	NAVN	19				
32	Imprimir lotes	NAVN	20				
33	Pegar lotes a los envases correspondientes	NAVN	21				
34	Coordinar con el departamento de calidad aprobación de lote	NAVN	22				

Figura 7 Porcentaje de actividades según su clasificación del proceso 2**Tabla 2** Tabla resumen del proceso 2

Tipo	Cantidad
AV	11
NAV	2
NAVN	21

2.1.4 Voz del cliente

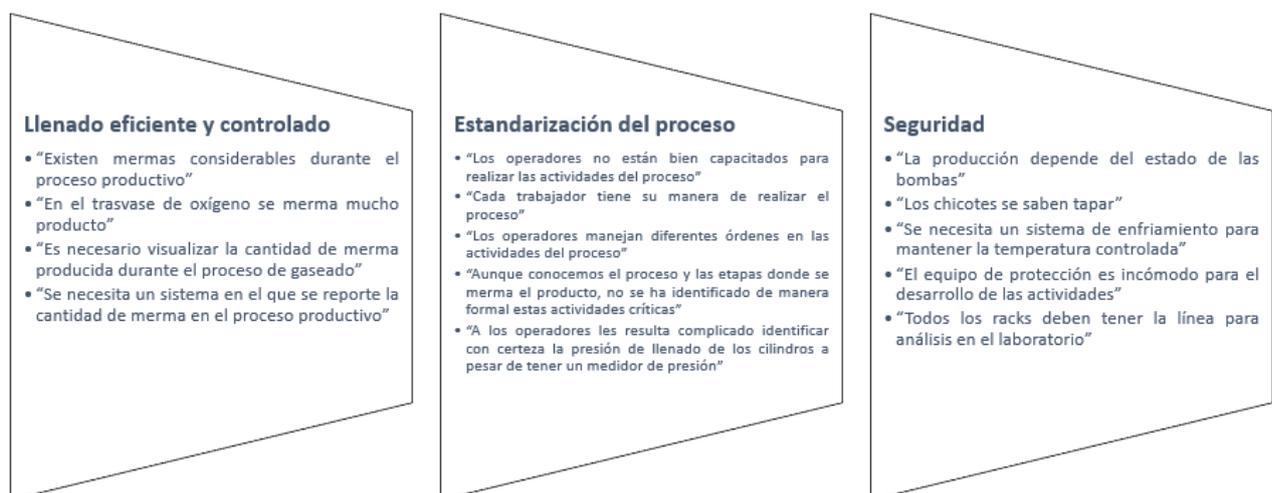
Por medio de las entrevistas realizadas a los principales actores que intervienen en la línea de producción de oxígeno se pudieron obtener las principales necesidades del cliente. Nuestros principales clientes son:

- Jefe Operaciones Gaseosas, es el principal responsable de la línea de producción de la empresa, conoce el problema que está sucediendo en su línea y es el principal beneficiado de las soluciones que se puedan implementar.
- Jefe de Control y Laboratorio, es quien lleva un control de la calidad de los gases de la empresa y es importante estar alineado a sus especificaciones en cuanto a las mejoras que se puedan implementar.

- Operador, son los principales involucrados en el proceso ya que están en cada una de las estaciones y permiten que se realice el llenado de los cilindros.

Posteriormente, con las necesidades obtenidas se construyó un diagrama de afinidad donde se agrupan todas las necesidades de los principales clientes y están clasificadas según sus requerimientos. En la figura 8 se puede visualizar estas ideas clasificadas.

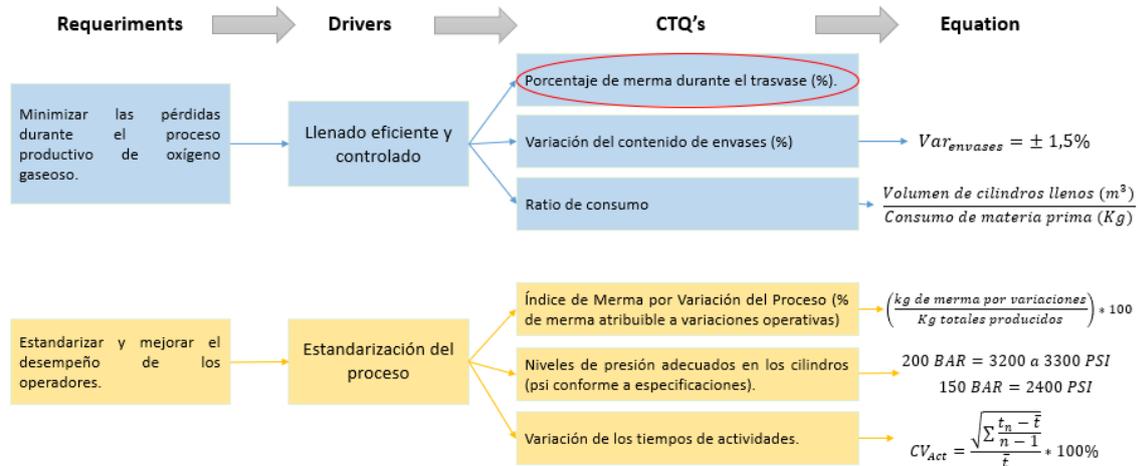
Figura 8 Diagrama de afinidad de las necesidades del cliente



2.1.5 Críticos para la calidad

Una vez definido el diagrama de afinidad se procedió a traducir las necesidades del cliente en requerimientos técnicos a través de la utilización del CTQ Tree, donde se pueden evidenciar lo que el cliente necesita, los principales factores que impactan la satisfacción del cliente y las métricas relacionadas a los factores que aseguran la calidad. Con la ayuda de esta herramienta se pudo escoger nuestra variable de respuesta que finalmente será el porcentaje de merma del proceso.

Figura 9 CTQ Tree



En la figura 9 sombreado de rojo se puede visualizar la variable de respuesta mencionada, la cual se la obtiene con la siguiente ecuación 2.1 donde se suma el oxígeno en el tanque al iniciar la producción más el oxígeno abastecido al tanque menos la suma del oxígeno utilizado para la producción con el oxígeno en el tanque al finalizar la producción, todo este resultado dividido para el oxígeno utilizado para la producción y su resultado de los multiplica por 100.

Y= % de merma del proceso

X1= Oxígeno en el tanque al iniciar la producción (Kg).

X2= Oxígeno abastecido al tanque (Kg).

X3= Oxígeno utilizado para la producción (Kg).

X4= Oxígeno en el tanque al finalizar la producción (Kg).

$$Y = \left| \frac{(X_1 + X_2) - (X_3 + X_4)}{X_3} \right| * 100\% \quad (2.1)$$

2.1.6 Métricas de sostenibilidad

2.1.6.1 Indicador Social

Este indicador mide el grado de satisfacción de los operadores, considerando que ellos son los principales actores del proceso productivo, lo que se busca es medir su satisfacción respecto a las mejoras que se puedan implementar y las nuevas herramientas que puedan entrar en el proceso, para ello se utiliza la ecuación 2.2.

Grado de satisfacción de los operadores

$$= \frac{\sum_1^n \text{Puntuación obtenida}}{\text{Puntuación máxima} * n} * 100\% \quad (2.1)$$

2.1.6.2 Indicador Económico

Las mermas producen pérdidas económicas y la empresa busca la reducción de la misma de manera que se tenga una mayor rentabilidad en ese proceso, es por ello que al reducir las mermas de oxígeno se va a tener menos pérdida de producto y por lo tanto menos pérdidas económicas. Con la siguiente ecuación se puede evidenciar las ganancias potenciales para la empresa.

$$\text{Ganancias potenciales} = \text{Oxígeno Consumido(Kg)} * \%merma reducida * \text{Precio} \left(\frac{\$}{kg} \right) * (1 - \%merma promedio) \quad (2.3)$$

2.1.6.3 Indicador Ambiental

Para este indicador representado en la ecuación 2.4 lo que se busca es evidenciar el consumo de energía reducida que se obtendrá al reducir el porcentaje de merma en el proceso, ya que si existe una reducción de las mermas significa que la bomba trabajara menos tiempo al completar el llenado de la línea de forma correcta lo que va a favorecer las actividades sostenibles que la empresa requiere alcanzar.

Consumo de energía reducida por volumen de producción

$$= \frac{\text{Energía total consumida (Kwh)}}{\text{Volumen de oxígeno gaseoso (m}^3\text{)}} * \% \text{merma reducida} \quad (2.4)$$

2.1.7 Declaración del problema y oportunidad

En la figura 1 se puede evidenciar el comportamiento de la merma durante el periodo de estudio, el cual comprende desde enero del 2023 hasta septiembre del 2024, se puede evidenciar que existen datos mayores al promedio obtenido. Con la ayuda de la herramienta 3W+2H se procedió a declarar el problema el cual se puede observar en la figura 10 y quedó establecido de la siguiente manera “En una empresa de producción y fabricación de gases medicinales e industriales el alto porcentaje de merma mensual de oxígeno está impactando en la línea de producción de la misma. Desde enero 2023, se han observado cifras superiores al 3%, por encima del 1.65% de merma esperada para esta línea. El objetivo es minimizar la merma que se produce en la línea en al menos un 15%.”

Figura 10 Definición del problema con la metodología 3W+2H



2.2 Medición

2.2.1 Plan de recolección de datos

Para iniciar la etapa de medición, se recurrió a la utilización de un plan de recolección de datos en donde se detalla cada una de las variables a recolectar o medir, la

unidad en la que se la mide, el método de recolección, tamaño de la muestra de los datos que se va a utilizar, su origen y la razón por la que se la considera, todo esto con la finalidad de estudiar cómo se ve afectada la variable de respuesta que en este caso es la merma porcentual del proceso de llenado, esto condiciona a que la información presentada en nuestro plan sea relevante para el enfoque y con ello ayudar en la toma de decisiones en las etapas posteriores del proyecto. A continuación, en la Tabla 3 se muestra el plan de recolección de datos.

Tabla 3 *Plan de recolección de datos*

Variable	Descripción	Unidad	Tipo de Dato	Método de recolección	Factores de estratificación	Tamaño de la muestra	Origen	Razón	Estado
% de merma de la línea de Oxígeno	Porcentaje de la merma mensual de la línea de Oxígeno medicinal e industrial	%	Continuo	Data histórica	Estado del producto terminado	Ene 2023 - Sept 2024	Swissystem	Controlar la variable de respuesta	100%
Oxígeno utilizado para la producción	Cantidad de oxígeno utilizado para la producción	Kg	Continuo	Data histórica	Estado del Producto Terminado	Ene 2023 - Sept 2024	Swissystem	Enfocarse en el estado de producto que es más significativo para la producción	100%
Materia prima abastecida	Cantidad de oxígeno que se abastece a los tanques de almacenamiento	Kg	Continuo	Data histórica	Estado del Producto Terminado	Ene 2023 - Sept 2024	Planta ASU	Determinar el flujo de materia prima a la línea de producción	100%
Volumen de producción	Volumen de los tanques llenados durante la producción	m ³	Discreto	Data histórica	Tipo de proceso de llenado	Meses con % de merma \geq promedio	Swissystem	Enfocarse en el proceso de llenado que más frecuente de la línea de productos de oxígeno	100%
Potencia de la bomba	Potencia de consumo de la bomba que alimenta la línea de producción gaseosa	Kw	Discreto	Observación directa	Tipo de producto	1	Bomba situada en la planta	Controlar la variable de respuesta del TBL del eje ambiental	100%
Precio por kilogramo	Precio de valor al público del oxígeno en sus diferentes presentaciones	\$/kg	Continuo	Data histórica	Tipo de presentación – Por proceso	Toda la data	Departamento Contabilidad	Controlar la variable de respuesta del TBL del eje económico	100%
Satisfacción de operadores	Nivel de satisfacción de cada uno de los operadores respecto a los procesos	Puntos	Discreto	Encuesta	Por operador	3 Personas	Línea de producción	Controlar la variable de respuesta del TBL del eje social	100%
Reproceso	Cantidad de oxígeno utilizado para la producción y que tuvo un problema en el ICC por lo que, tuvo que volver a ser tratada en el software	Kg	Continuo	Data histórica	Tipo de producto	Ene 2023 - Sept 2024	Swissystem	Identificar los meses con esta falla y como afecta a la variable de respuesta	100%

2.2.2 Análisis de confiabilidad de los datos.

2.2.2.1 Confiabilidad de las variables merma del proceso de llenado

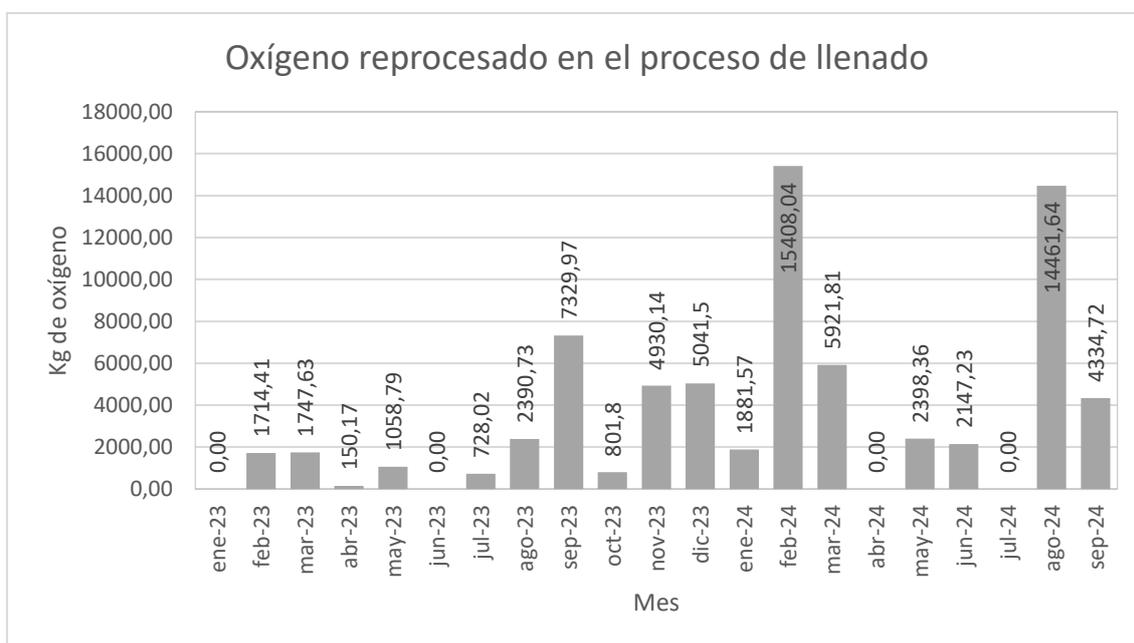
La cantidad de merma del proceso de llenado se la obtuvo a partir del SSystem el cual es el sistema interno de la empresa, en donde se registran los ingresos por abastecimiento, los consumos de producción y la cantidad en kg de merma de oxígeno. Sin embargo, al analizar la información proporcionada se identifica que los datos presentan detalles que pueden provocar inconsistencia en la obtención de la variable de respuesta, estas inconsistencias se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 4 *Detalles de los datos y correcciones*

Detalle	Explicación	Medida de corrección
Ajuste del sistema	Mensualmente se realizan ajustes en el sistema interno de la compañía, en donde se realiza un artificio de suma y resta de valores de merma que en la práctica se anulan, esto se realiza con fines contables de otros procesos que no afectan al valor producido, pero si pueden llegar a afectar al cálculo de los ingresos y egresos del proceso afectando así la variable de respuesta.	Identificar estos valores que se anulan en el ajuste y eliminarlos para no afectar la cantidad de ingresos y egresos propios de la línea de oxígeno.
Reproceso	Este problema consiste en que a menudo el sistema ICC donde se registran los lotes de producción diarios suele tener inconvenientes al momento de procesar la información, por lo que, se realiza un movimiento de devolución de la materia prima utilizada en el software para posteriormente volver a ingresar la producción que ya se encuentra como producto terminado. Esto afecta de igual manera a la cantidad de ingresos y egresos del proceso afectando de a la variable de respuesta.	Identificar estos valores del “reproceso” y eliminarlos de la data para determinar el porcentaje de merma real del proceso.

La cantidad de oxígeno reprocesado se muestra en la Figura 11 y como se observa existen meses en los cuales esta cantidad de oxígeno utilizado que no fue procesada por el sistema ICC y que es devuelta y con ello ingresada al sistema es considerablemente grande, por lo que, si por error es considerada dentro del cálculo de merma porcentual puede causar un sesgo en la información.

Figura 11 Oxígeno reprocesado en el sistema



2.2.2.1.1 Cálculo del tamaño de la muestra

Siguiendo con el análisis de la confiabilidad de los datos, se busca realizar una comparación entre los datos históricos proporcionados de enero del 2023 a septiembre del 2024 y una muestra de la merma diaria en el proceso de llenado de oxígeno según las cantidades producidas y consumidas, para poder realizar esta actividad, en primer lugar, se realizó el cálculo del tamaño mínimo de la muestra con el enfoque de validar la información proporcionada inicialmente. La ecuación empleada se muestra a continuación:

$$N = Z_{\alpha}^2 \frac{S_p^2}{\partial^2} \quad (2.5)$$

Donde:

N= Tamaño de la muestra

Z= Nivel de confianza

Sp= Desviación estándar de la población

δ = precisión de la estimación.

Con la información detallada y los datos obtenidos de la población, En la Tabla 5 se presentan los datos donde se muestra que el tamaño mínimo de la muestra es de 11 mediciones, las cuales serán tomadas mediante muestreos diarios junto con los datos obtenidos en el SSystem y las balanzas de los tanques de almacenamiento de oxígeno.

Tabla 5 *Tamaño de la muestra.*

Proceso de llenado de Oxígeno	
Desviación estándar de la población	0,0250
Media de la población	0,0207
Precisión de la estimación	0,0150
Nivel de confianza	95%
N	11

2.2.2.1.2 Análisis de las medias de la muestra y la población

Ahora, para determinar que los datos son confiables se realizará una prueba t para 2 muestras en la cual se evaluará si los datos obtenidos del muestreo poseen una media significativamente igual a los datos de la población, a dicho test se le realizará la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0 = \text{Las medias son iguales } (\mu_1 - \mu_2 = 0)$$

$$H_1 = \text{Las medias son diferentes } (\mu_1 - \mu_2 \neq 0)$$

A esta prueba se la evaluó bajo el criterio del valor p, al cual le daremos un nivel de significancia de 0,05, es decir que si obtenemos un valor menor a 0,05 se rechazara la hipótesis nula lo cual significaría que las medias difieren significativamente, caso contrario si el resultado es mayor al nivel establecido aceptamos la hipótesis nula y concluiríamos que las medias no difieren significativamente.

En la Figura 12 podemos observar la estadística descriptiva y la prueba de igualdad de medias realizadas a la muestra y los datos históricos, donde se obtuvo un valor p de 0,472 el cual es mayor al nivel de significancia establecido anteriormente, por lo que aceptamos la hipótesis nula y determinamos que las medias no difieren significativamente.

Figura 12 Prueba de igualdad de medias de datos históricos y muestra.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	
Histórico	21	0,0207	0,0147	0,0032
Muestra	11	0,0163	0,0168	0,0051

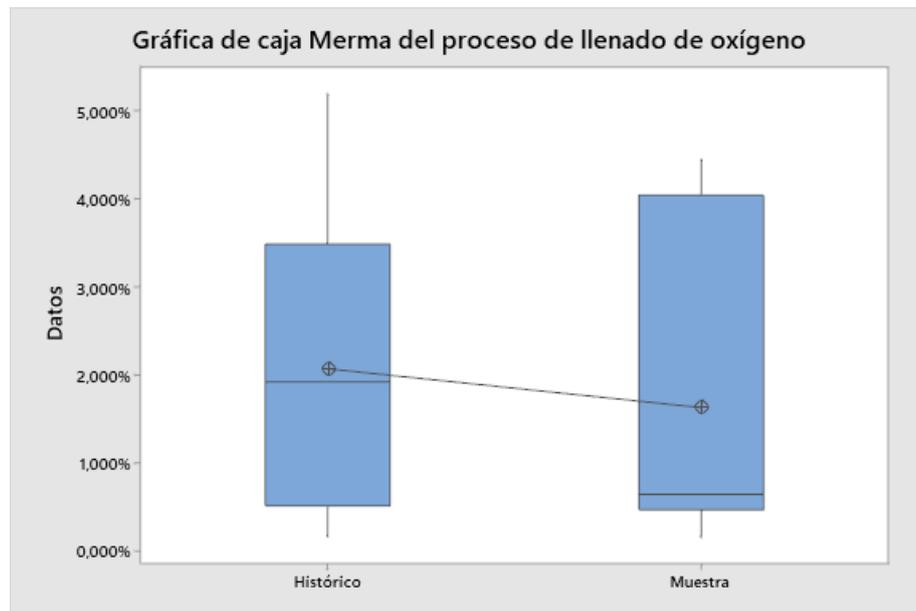
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
0,73	18	0,472

Figura 13 Diagrama de Caja de datos históricos y la muestra



2.2.2.1.3 Prueba de normalidad

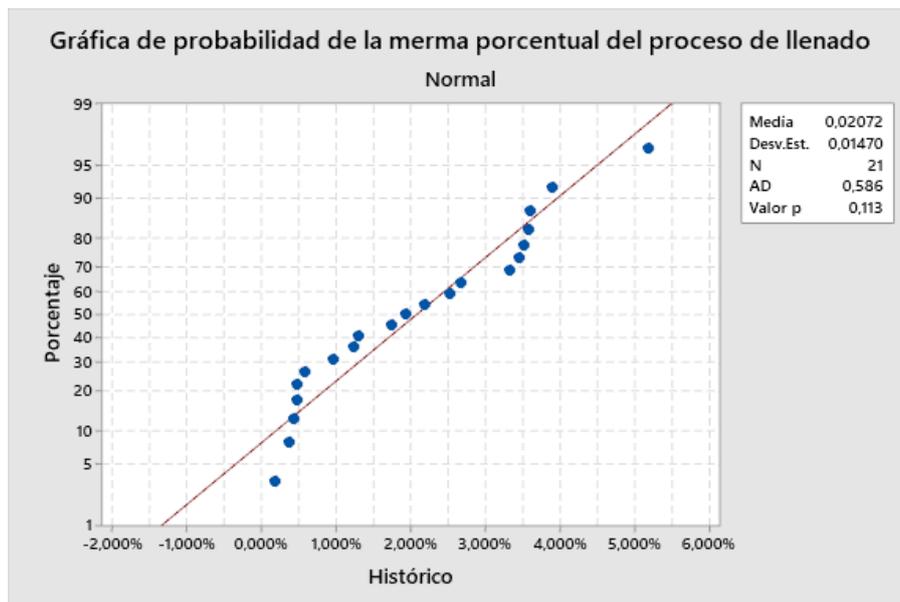
Una vez identificadas las inconsistencias y aplicada la acción de mejora, se procedió a analizar qué tipo de distribución siguen de los datos obtenidos, para determinar si los datos siguen una distribución normal, para esto realizamos una prueba de normalidad con las siguientes hipótesis:

H_0 = Los datos siguen una distribución normal.

H_1 = Los datos no siguen una distribución normal

En la Figura 14 observamos que los datos tienen un valor p de 0,113 el cuál es mayor a nuestro nivel de significancia de 0,05, debido a esto aceptamos la hipótesis nula y comprobamos que los datos se distribuyen normalmente, es decir, no siguen ninguna tendencia, por ende, queda comprobada la confiabilidad de los datos de la variable de respuesta.

Figura 14 Prueba de normalidad de la variable de respuesta

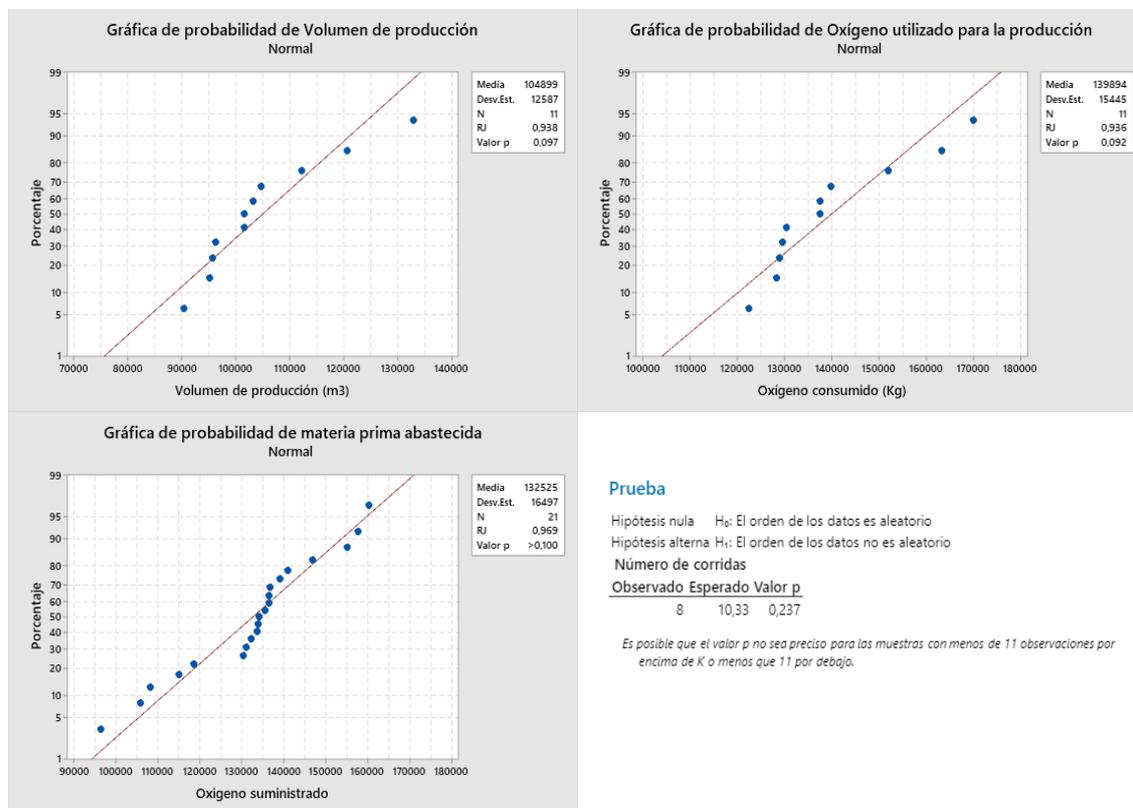


2.2.2.2 Confiabilidad de los datos de las variables restantes

Para poder tener datos confiables de las variables contempladas dentro del plan de recolección de datos, se acordó que la información de abastecimiento de materia prima, oxígeno consumido para la producción, volumen de producción y reproceso, sea cargada al sistema interno al instante de realizar la operación o en su defecto como máximo hasta terminar el día de trabajo, de esta manera evitar inconsistencia al realizar el cálculo de la variable de respuesta.

De igual manera que con la variable de respuesta, se procedió a realizar una prueba de normalidad para las variables; materia prima abastecida, oxígeno consumido para la producción y volumen de producción, dando como resultado que las 3 variables siguen una distribución normal. Por otra parte, para la variable de reproceso al ser este un problema que se presenta de manera aleatoria se procedió a realizarle una prueba de aleatoriedad en donde se determinó mediante el criterio del valor p que esta variable es aleatoria en el tiempo, con esta información queda demostrado que los datos son confiables debido a que no presentan alteraciones, ni tendencia en ellos. Las pruebas de normalidad y aleatoriedad se presentan en la Figura 15.

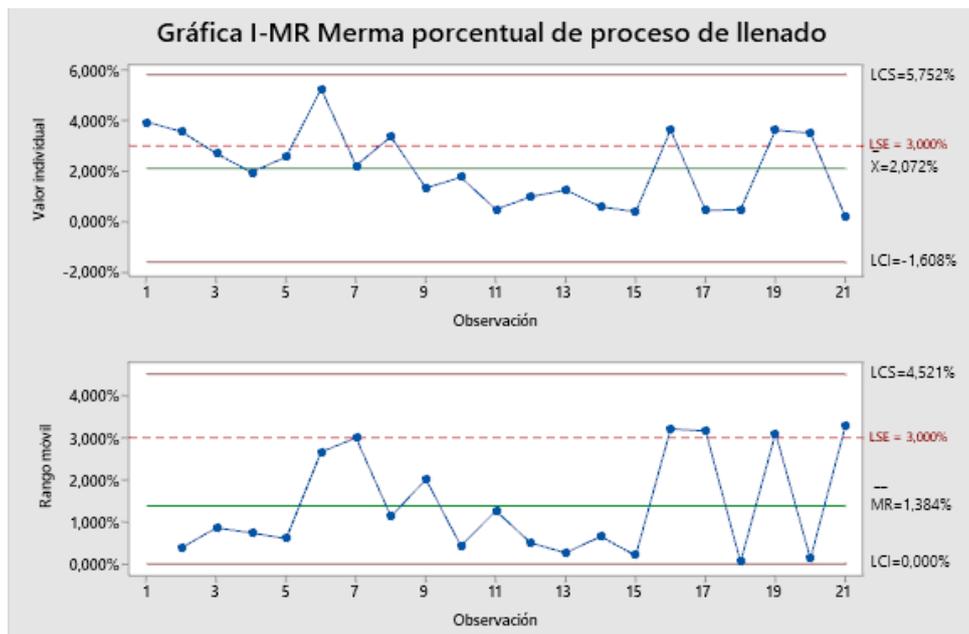
Figura 15 Pruebas de normalidad de las variables volumen de producción, oxígeno utilizado para la producción y materia prima abastecida, y prueba de aleatoriedad del reproceso.



2.2.3 Grafica de control

Para analizar la variación presente en el proceso, se elaboró una gráfica de control para muestras individuales donde se observa que los valores se encuentran bajo control estadístico, es decir, no presentan causas especiales de variación, sin embargo, hay puntos cerca de los límites de control que indican que si el proceso aumenta su variabilidad este no sería estable, adicionalmente, existen puntos que salen de los límites permitidos de especificación por parte de la empresa, por lo que, se requiere realizar un análisis de capacidad del proceso para verificar si este es capaz de cumplir o no con las especificaciones del porcentaje de merma esperado.

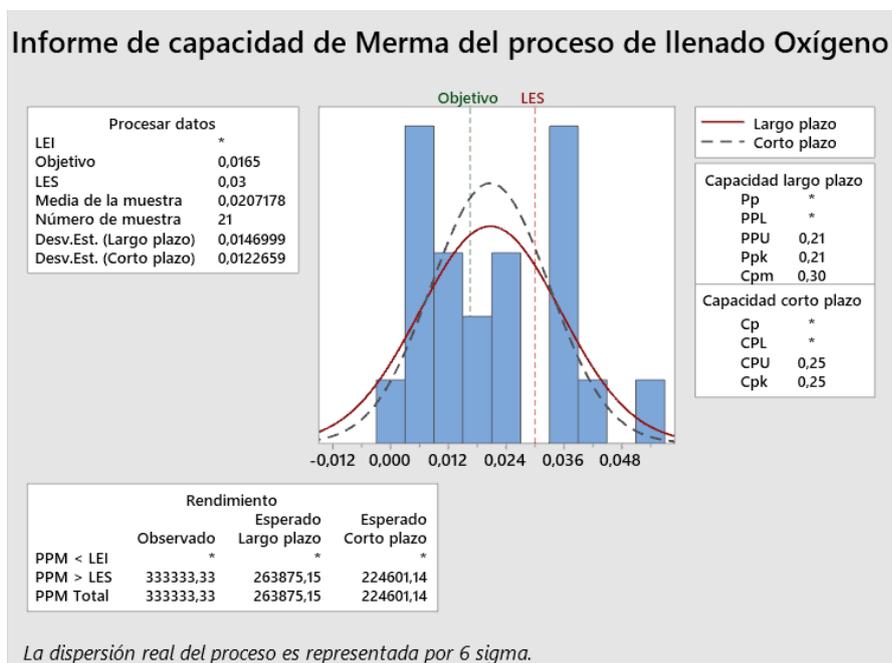
Figura 16 Carta de control I-MR de la variable de respuesta



2.2.4 Análisis de Capacidad

Para el análisis de la capacidad el proceso se estableció el límite de especificación superior y el objetivo de la empresa, donde se obtuvo un $C_{pk} = 0,25$ lo que indica que a corto plazo el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas, por lo que este proceso tiene oportunidades de mejora para acercarnos al objetivo establecido, de la misma forma se obtuvo un $P_{pk} = 0,21$ lo que indica que a largo plazo el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones, mientras que el $C_{pm} = 0,30$ indica que el proceso es moderadamente variable, lo que desvía al proceso de cumplir con el objetivo esperado para la cantidad de merma del proceso de llenado de oxígeno.

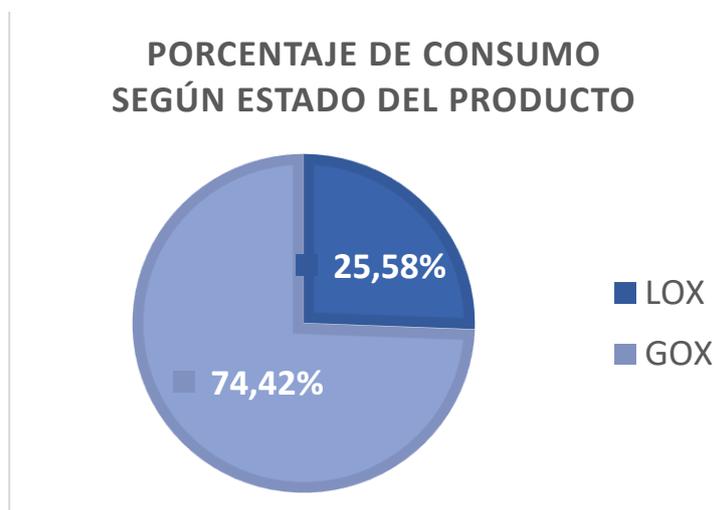
Figuras 17 Análisis de capacidad de la variable de respuesta



2.2.5 Estratificación

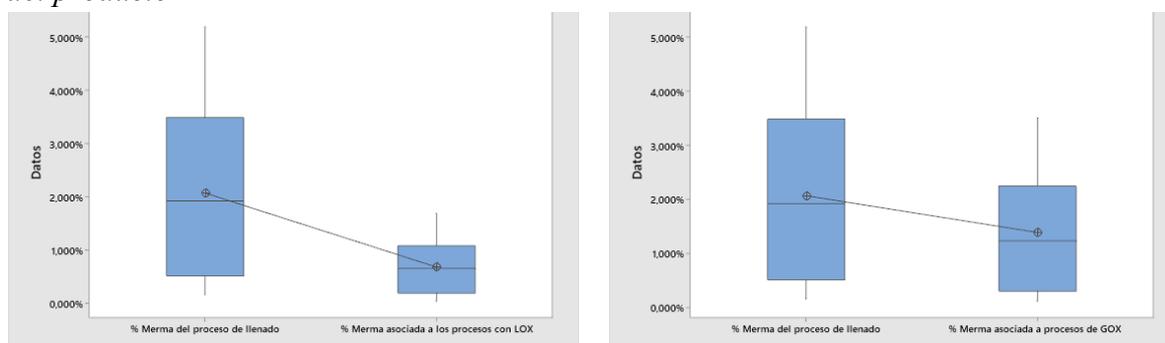
Tomando en cuenta que le empresa comercializa el oxígeno en 2 tipos de estados, estos son oxígeno líquido (LOX) y oxígeno gaseoso (GOX), los cuales dividen el consumo para la producción tal como se muestra en la Figura 18, la cual indica que se utiliza casi tres cuartas partes de la materia prima consumida para la producción de productos con GOX.

Figura 18 Consumo porcentual según el estado del producto



Dentro de los datos recolectados se procedió a realizar muestreos de la merma asociada a los diversos procesos de llenado donde se estratificó según el estado del producto, con dichas muestras se procedió a realizar un análisis de los datos con la variable de respuesta para determinar las medias de los datos son significativamente diferentes y con ello determinar si la merma de cada uno de los productos según su estado afecta o no a la variable de respuesta. En la Figura 19, se observa que el valor de la media la merma del proceso de llenado con LOX difiere significativamente de nuestra variable de respuesta, mientras que la merma atribuida a los procesos de llenado con GOX presenta una media significativamente igual, por lo que este será nuestro punto de enfoque en este proyecto, cabe recalcar que esta diferencia entre la merma de los productos se ve afectada por el nivel de producción, la demanda y la cantidad de envases a disposición.

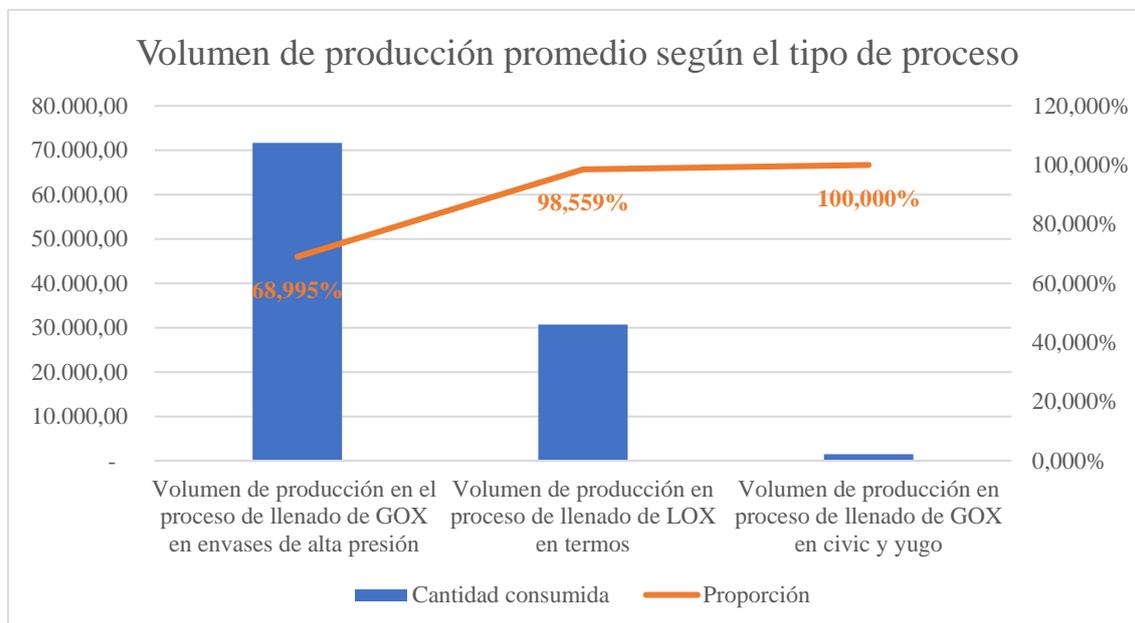
Figura 19 Comparativa de la porción de merma atribuida a cada producto según el estado del producto



Por consiguiente, se realizó un diagrama Pareto con respecto al volumen de producción de la línea de oxígeno, según los datos proporcionados por el SSsystem se tiene que en promedio el 68,99% del volumen de producción se lo produce en la línea principal de GOX con envases de alta presión, mientras que en el proceso de llenado de LOX en términos donde se concentra el 29,563% de la producción y el restante se trata de la producción en el proceso de llenado de GOX para envases con válvulas integradas. Por dicha razón, este estudio se enfocará en analizar el proceso de llenado de oxígeno gaseoso

de la línea de producción con envases de alta presión, por consiguiente, este proceso será el enfoque principal del estudio.

Figura 20 *Volumen de producción promedio según el tipo de proceso*



2.2.6 Problema enfocado

Una vez determinada el tipo de producto y el proceso en el cual nos vamos a enfocar, se definió el problema enfocado con la ayuda de la herramienta 3W+2H la cual se muestra en la Figura 21, en donde finalmente obtuvimos el problema: “En la línea de llenado de oxígeno gaseoso se ha detectado un alto porcentaje de merma en el periodo de enero 2023 a septiembre 2024. Durante este periodo, el promedio de merma observado fue de 1,39%, el cual excede el porcentaje máximo permitido el cual es de 1,25%, encontrando incluso valores por encima del doble de su media”

Figura 21 Definición del problema enfocado usando la herramienta 3W + 2H.



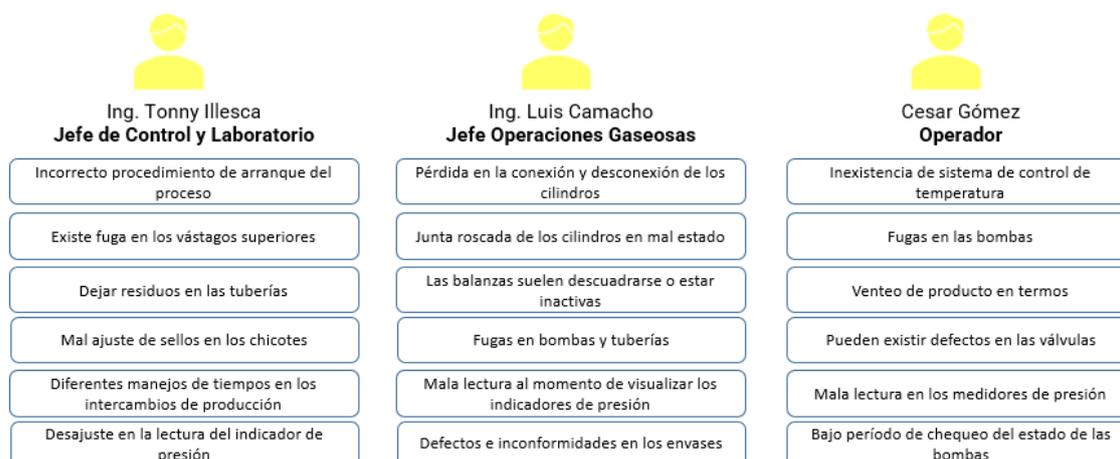
2.3 Análisis

A partir de los datos recogidos en la etapa anterior se procedió a realizar el análisis de estos, utilizando herramientas como lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz causa-efecto, matriz impacto-esfuerzo, plan de verificación de causas y análisis de los 5 Por qué se pudo identificar las potenciales causas relacionadas al problema.

2.3.1 Lluvia de ideas

Con el fin de recolectar las principales causas relacionadas al problema clave se realizaron una serie de entrevistas a los clientes claves el Jefe de Control y Laboratorio, Jefe de Operaciones Gaseosas y los Operadores. En la figura 22 se pueden evidenciar las principales causas recolectadas las cuales fueron un total de 18 ideas.

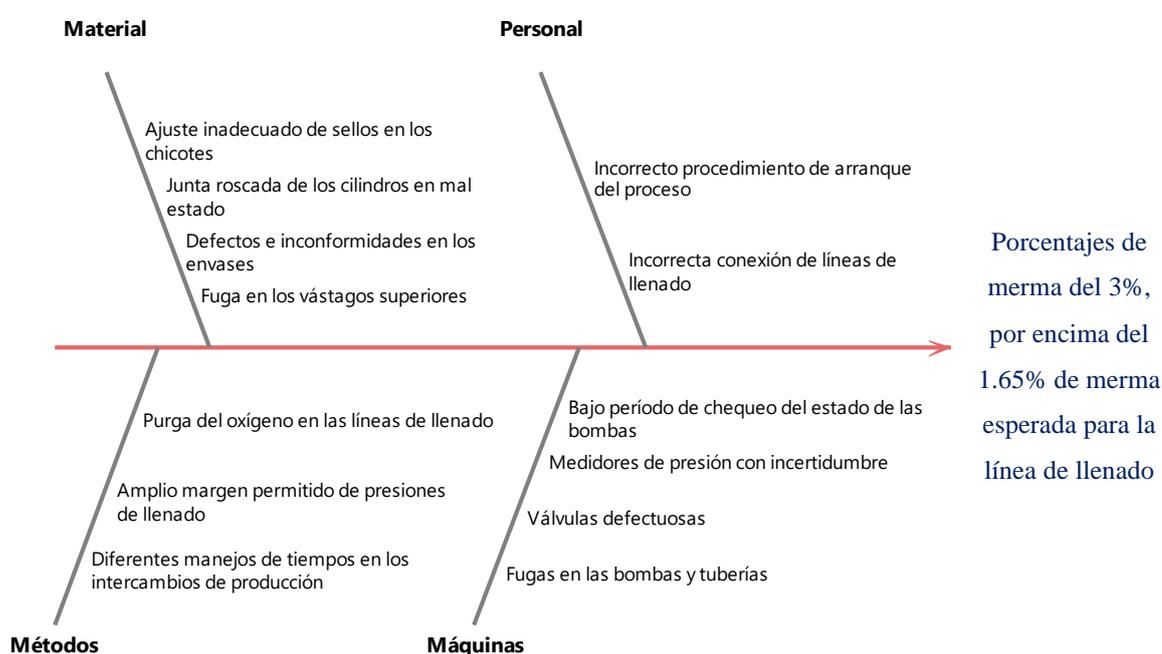
Figura 22 Lluvia de ideas



2.3.2 Diagrama de Ishikawa

Con las principales causas recolectadas las cuales fueron presentadas previamente se procedió a utilizar el diagrama de Ishikawa con la finalidad de presentar las posibles causas del problema mediante 4 factores específicos como lo son material, personal, métodos y máquinas. En la figura 23 se muestra a mayor detalle el diagrama final.

Figura 23 Diagrama de Ishikawa



2.3.3 Matriz Causa-Efecto

Para este punto se realizaron nuevas reuniones con los actores involucrados de manera que puedan dar una ponderación a cada causa clasificada con el diagrama anterior. Para esto se utilizó una ponderación de valores 0, 1, 3 y 9 que van desde la no significativa hasta la bastante significativa.

Tabla 6 Ponderaciones matriz causa-efecto

Valoración	Significado
0	No significativo
1	Baja significancia
3	Significativa
9	Bastante significativa

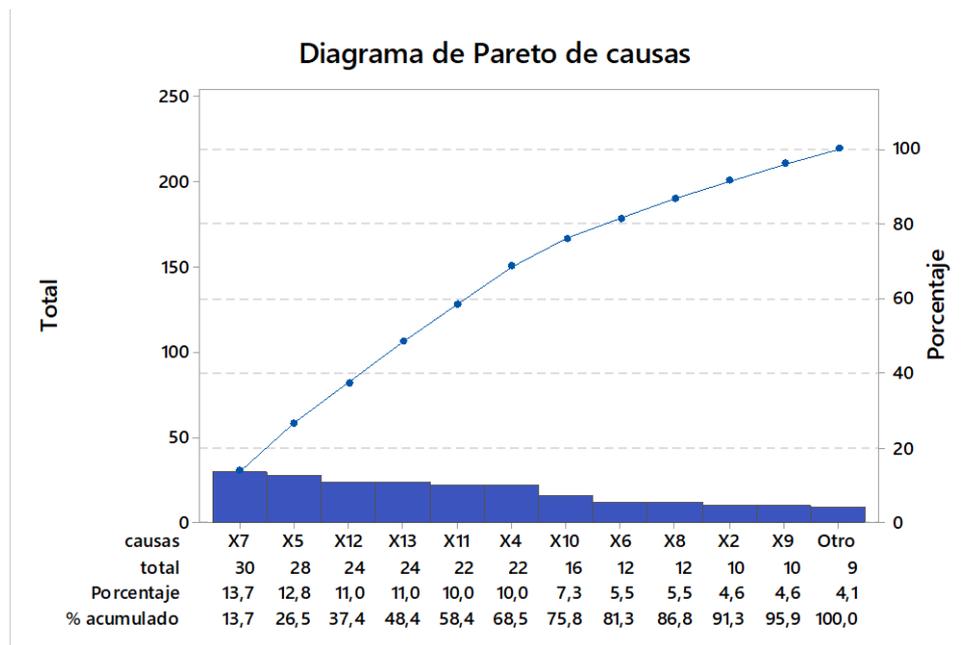
En la tabla 7 podemos visualizar las causas con las ponderaciones dadas por los actores claves y la valoración total de cada causa.

Tabla 7 Matriz Causa-Efecto

Variable	Causas Potenciales	Jefe de Control y Laboratorio	Jefe de Operaciones Gaseosas	Operador 1	Operador 2	Total
X1	Incorrecto procedimiento de arranque del proceso	1	1	3	1	6
X2	Ajuste inadecuado de sellos en los chicotes	3	3	1	3	10
X3	Diferentes manejos de tiempos en los intercambios de producción	1	1	1	0	3
X4	Fugas en las bombas y tuberías	1	9	9	3	22
X5	Purga del oxígeno en las líneas de llenado	1	9	9	9	28
X6	Válvulas defectuosas	3	3	3	3	12
X7	Amplio margen permitido de presiones de llenado	3	9	9	9	30
X8	Junta roscada de los cilindros en mal estado	3	3	3	3	12
X9	Incorrecta conexión de líneas de llenado	1	3	3	3	10
X10	Fuga en los vástagos superiores	9	3	3	1	16
X11	Defectos e inconformidades en los envases	1	9	9	3	22
X12	Medidores de presión con incertidumbre	3	3	9	9	24
X13	Bajo periodo de chequeo del estado de las bombas	9	9	3	3	24

Podemos observar que existen causas con un alto valor las cuales a simple vista podemos decir que serán nuestras principales causas a elegir, pero por medio de un diagrama de Pareto podemos identificar con más claridad las que son más importantes.

Figura 24 Diagrama de Pareto

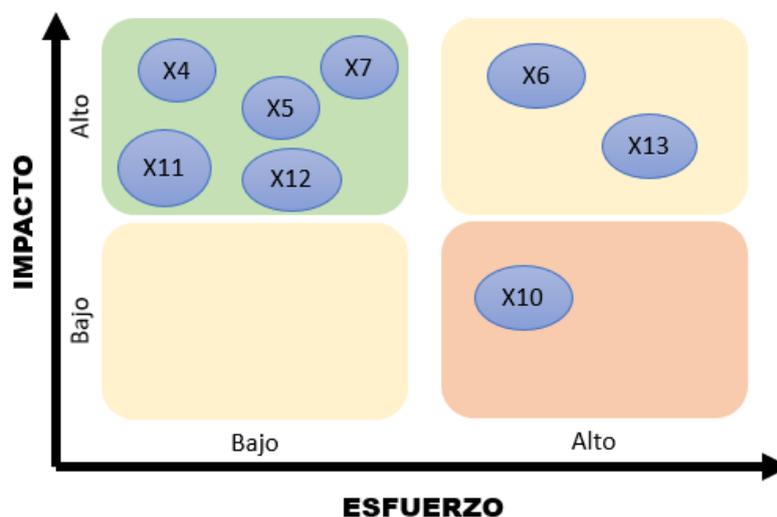


En la gráfica podemos evidenciar que de las principales causas solo 8 representan el 80% del problema y son las cuales vamos a elegir e identificar cuales cumplen con los requisitos.

2.3.4 Matriz Impacto-Esfuerzo

Con la ayuda de los principales actores se procedió a evaluar las 8 principales causas que obtuvieron una mayor ponderación a través de la matriz impacto-esfuerzo, donde se eligieron aquellas causas que tendrían un alto impacto y un bajo esfuerzo sobre la problemática.

Figura 25 Matriz Impacto-Esfuerzo



2.3.5 Plan de verificación de causas

A través del plan de verificación de causas se procedió a definir la manera en la que se verificó las causas potenciales, así como la teoría del impacto de estas causas sobre la variable de respuesta. En la tabla 8 se puede evidenciar más a detalles el plan en mención.

Tabla 8 *Plan de verificación de causas*

Causa Potencial	Teoría del impacto en la variable de respuesta	Cómo se verificará	Estado
Fugas en las bombas y tuberías	Las fugas en estos elementos mencionados pueden variar en magnitud, cada fuga representa un volumen de oxígeno perdido que impacta directamente en la merma	GEMBA	Verificado
Purga del oxígeno en las líneas de llenado	La cantidad de purga no se ajusta, se pierde oxígeno que podría haberse utilizado en el llenado. Esto aumenta la merma de forma constante	GEMBA	Verificado
Medidores de presión con incertidumbre	La variabilidad en la medición afecta la precisión de los llenados, afectando el volumen final del producto terminado. Estas variaciones se traducen en merma	GEMBA	Verificado
Defectos e inconformidades en los envases	Los defectos que se presentan en los envases aumentan la pérdida general del producto	GEMBA	Verificado
Amplio margen permitido de presiones de llenado	El amplio margen de presiones de llenado permite que las variaciones de presiones estén en un rango flexible, lo cual puede llevar a inconsistencias en el volumen de oxígeno transferido	GEMBA	Verificado

2.3.5.1 Fugas en las bombas y tuberías.

Se comprobó junto con el Jefe de Operaciones Gaseosas que existen fugas al momento que se encuentra la bomba trabajando. En la figura 26 se puede observar cómo existe goteo de materia prima que se traduce en merma al final de la producción, así como diferentes fugas por contracción en las tuberías que pasan por las mismas las cuales van sumando la cantidad de producto que se pierde durante el proceso.

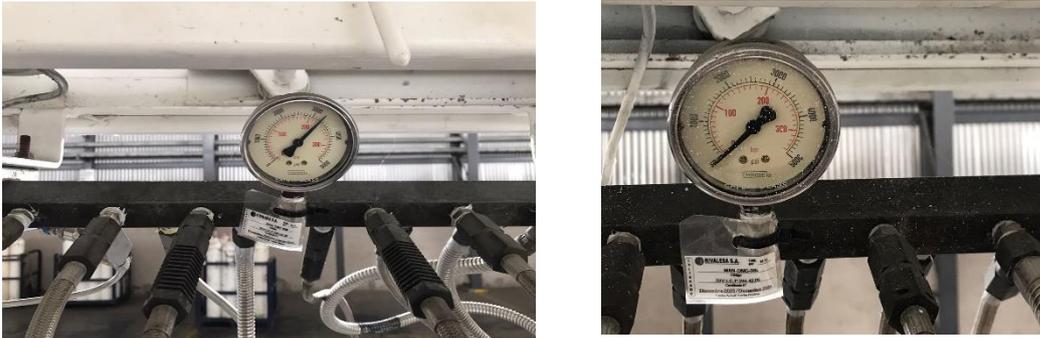
Figura 26 *Fugas en bombas y tuberías*



2.3.5.2 Purga del oxígeno en las líneas de llenado

En estas dos primeras figuras se pudo evidenciar como queda oxígeno en las líneas de llenado el cual posteriormente es purgado, se pudo contemplar como el medidor señala una presión al finalizar el llenado en la línea y luego pasa a cero al ser purgado

Figura 27 *Medidores de presión*



Tal como se puede observar en la figura 28 esa es la manera en que se purga, el operador abre la llave por donde sale el oxígeno contenido al finalizar la producción, esto se lo realiza con la finalidad de que las líneas estén vacías al momento de llenar otro lote.

Figura 28 *Purga del oxígeno*



2.3.5.3 Medidores de presión con incertidumbre

Existen medidores de presión que aún necesitan ser cambiados al presentar daños en su marco. Como se puede evidenciar en la figura 29 este medidor presentaba daños en su marco que a larga puede afectar la medida de presión.

Figura 29 *Daños en los medidores*



Como se puede observar en la figura 30, este medidor tiene una mala calibración al no marcar en cero la presión. Si bien es cierto que los operadores se pueden guiar por los medidores de los otros racks, sigue siendo una situación que puede conllevar a las malas lecturas de presiones, sumado a que son medidores análogos cuya marcación se presta a la interpretación de cada operador.

Figura 30 *Mala calibración del medidor*



Seguido de aquello se pudo evidenciar la manera en que los operarios deben visualizar la presión de llenado de manera que sepan que están llenos los envases. Como se mencionó anteriormente la marcación de presión está a interpretación del operador.



2.3.5.4 Defectos e inconformidades en los envases

Precisamente durante los días que se estuvieron realizando la verificación de las causas, se pudo evidenciar dos eventos importantes. En primer lugar, en la figura 32 aconteció que el envase necesitaba una prueba hidrostática por lo que se procedió a botar todo el oxígeno con el que había sido llenado ya que no cumplía con las pruebas pertinentes.

Figura 32 *Defectos en el envase*



En segundo lugar, en la figura 33 podemos observar cómo se estaba revisando la válvula del envase ya que estaba presentado fugas, lo que conllevaba a que se esté perdiendo oxígeno durante su llenado. Por lo que se pudo concluir que defectos e inconformidades son una causa arraigada a la variable de respuesta.

Figura 33 *Daños en la válvula*



2.3.5.5 Amplio margen permitido de presiones de llenado

Se pudo tener acceso al manual donde tienen los procedimientos para el llenado de gases medicinales e industriales en cilindros y al conversar con los involucrados se pudo evidenciar que las presiones de llenado tienen un margen permitido que se estableció teniendo en cuenta la temperatura del cilindro de alta presión, la cual pasa de estar caliente a una temperatura fría de manera que puede afectar la entrega del producto final. Por ello se consideró que es una causa a tomar en cuenta por el momento.

Tabla 9 Presiones de trabajo

CAPACIDAD m^3	PRESION DE TRABAJO (PSI)	T° DE LLENADO (°C)	PRESION EN CALIENTE (PSI)	T° EN CALIENTE (°C)	PRESION EN FRIO (PSI)	T° AMBIENTE (°C)
8 a 10	3300 a 3400	49 a 51	3200 a 3300	38 a 40	2900 a 3000	27 a 31
6 a 7	2500	48 a 50	2400	34 a 37	2200 a 2250	27 a 31
CIVI	TRANSFERENCIAS DE CILINDROS PORTÁTILES CIVI				3000	28 a 30

2.3.6 Análisis causa raíz

Una vez analizado cada causa raíz se procedió por medio de entrevistas con el análisis de los 5 por qué, herramienta que nos ayuda a obtener la causa raíz asociada a la causa potencial que está afectando al problema. En la tabla 10 se puede apreciar el resultado final del uso de esta metodología que nos permitirá más adelante obtener soluciones potenciales ligadas a la causa raíz del problema.

Tabla 10 Análisis 5 porqué de las causas potenciales

Posibles causas	Preguntas				Causa raíz
	¿Por qué se producen fugas en bombas y tuberías?	¿Por qué las juntas o conexiones están desgastadas o dañadas?	¿Por qué no se realiza el mantenimiento preventivo?		
Fugas en bombas y tuberías	Porque las juntas o conexiones están dañadas o desgastadas	Porque el mantenimiento preventivo no se realiza a tiempo en bombas y tuberías	Porque el plan actual de mantenimiento de bombas y tuberías no es efectivo.		Falta de mantenimiento preventivo estructurado
Purga de oxígeno en líneas de llenado	¿Por qué se pierde oxígeno durante la limpieza de la línea? Porque el sistema libera más oxígeno del que se necesita para limpiar las tuberías	¿Por qué el sistema libera más oxígeno del necesario? Porque no hay un ajuste o control preciso del volumen de oxígeno que se libera	¿Por qué no hay un control preciso del volumen de oxígeno que se libera? Porque no se han definido normas mínimas claras de purga	¿Por qué no se han definido estándares claros? Debido a que no se han realizado estudios técnicos para determinar los volúmenes mínimos de oxígeno contenidos en las líneas	Causa raíz Falta de normas claras y de control sobre el volumen mínimo de oxígeno que debe liberarse
Medidores de presión con incertidumbre	¿Por qué los medidores son una causa potencial de contracción? Porque no se tiene una precisión exacta a la hora de realizar la medición de la presión	¿Por qué la medición de la presión no es precisa? Porque los medidores son analógicos y a la interpretación del operador	¿Por qué no se han asignado recursos a su cambio? Porque no se ha identificado el impacto económico de las lecturas inexactas en la contracción	¿Por qué no se ha identificado el impacto económico? Porque no se han analizado las pérdidas asociadas a la incertidumbre del contador	Causa raíz Ausencia de medidores calibrados

Posibles causas	Preguntas			Causa raíz
	¿Por qué los cilindros tienen defectos e inconformidades?	¿Por qué los defectos no se detectan a tiempo?	¿Por qué cada operario realiza la inspección a su manera?	
Defectos e inconformidades en los envases	Porque los defectos en los envases no se detectan a tiempo	Porque cada operario realiza la inspección a su manera	Porque no hay un flujo de proceso establecido	Ausencia de flujo de proceso para el procedimiento

2.4 Mejora

Posterior a haber identificado, ponderado y analizado las causas por las cuales se merma oxígeno en la línea de llenado de GOX, se procedió a diseñar propuestas de mejoras tomando en consideración las opiniones del jefe de operaciones el cual es nuestro key customer, se obtuvieron un total de 8 posibles soluciones, a las cuales se le realizó un análisis económico, se evaluaron criterios como impacto, esfuerzo y costo asociado a la implementación de cada una de ellas y finalmente se evaluó la viabilidad de implementarlo en corto plazo.

2.4.1 Soluciones propuestas

En la Tabla 11 se describen las soluciones propuestas con la causa raíz asociada a la cual se provee solucionar.

Tabla 11 *Soluciones propuestas*

Causa	Solución
Fugas en bombas y tuberías	Creación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para bombas y tuberías. S1
	Implementación de sensores de detección de fugas en puntos críticos de tuberías y bombas. S2
Purga de oxígeno en líneas de llenado	Informes con alertas, exportación de datos e informes automáticos. S3
	Implementación de canastilla de recolección de oxígeno S4
Medidores de presión con incertidumbre	Estandarización de las presiones de llenado. S5
	Implementación de medidores de presión digitales. S6
Defectos e inconformidades en los envases de alta presión	Elaboración del diagrama de flujo del proceso. S7
	Elaboración de manuales de procedimientos S8

2.4.2 Análisis Financiero

Una vez planteadas las soluciones se procedió, se procedió a realizar el análisis financiero de cada una de las soluciones planteadas, dichos valores se los obtuvo mediante cotizaciones con proveedores de equipos y vendedores de servicios dependiendo del requerimiento de la solución. En esta parte identificamos los 4 costos asociados a la puesta en marcha de cada una de las soluciones para cada causa raíz, estos son: Costo de activo (dispositivos), costo de implementación, costo de complementos (dispositivos adicionales) y costo de capacitación.

Tabla 12 *Análisis Financiero*

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Costo de Activo	\$ -	\$ 1,400.00	\$ 300.00	\$ -	\$ -	\$ 2,000.00	\$ -	\$ -
Costo de instalación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 100.00	\$ -	\$ 1,000.00	\$ -	\$ -
Costo de complementos	\$ -	\$ 450.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 800.00	\$ -	\$ -
Costo de capacitación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500.00	\$ -	\$ -
Total	\$ -	\$ 1,850.00	\$ 300.00	\$ 100.00	\$ -	\$ 4,300.00	\$ -	\$ -

2.4.2.1 Análisis de priorización

Ahora, clasificamos las soluciones basándonos en el impacto, esfuerzo y costo asociado a cada una de las soluciones, mediante 5 puntos calificamos cada uno de los criterios de priorización. La ponderación fue realizada por nuestro key customer, obteniendo como resultado el siguiente análisis

Tabla 13 *Criterios de Clasificación*

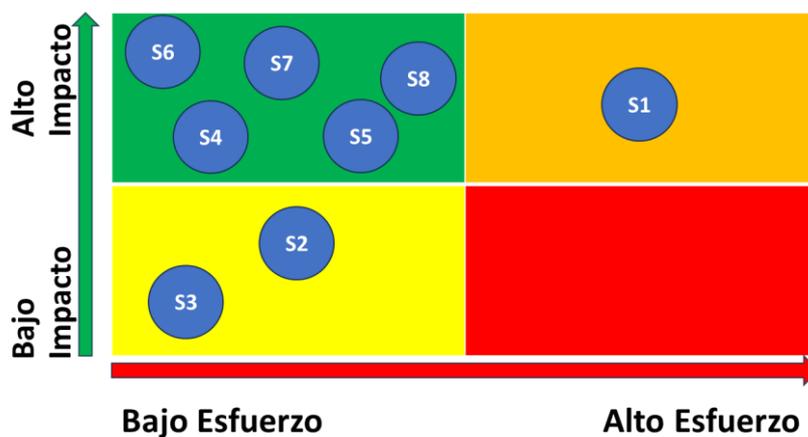
Criterio	Ponderación		
Alto Impacto	40%	Malo	1
Poco Esfuerzo	20%	No tan malo	2
Poco Costo	40%	Regular	3
		Bueno	4
		Excelente	5

Tabla 14 *Análisis de Priorización*

	Análisis de priorización							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Impacto	3	4	2	4	4	5	4	4
Esfuerzo	3	4	5	4	4	5	5	3
Costo	5	1	2	4	5	1	5	5
Total	3.8	2.8	2.6	4	4.4	3.4	4.6	4.2

2.4.3 Matriz Impacto – Esfuerzo

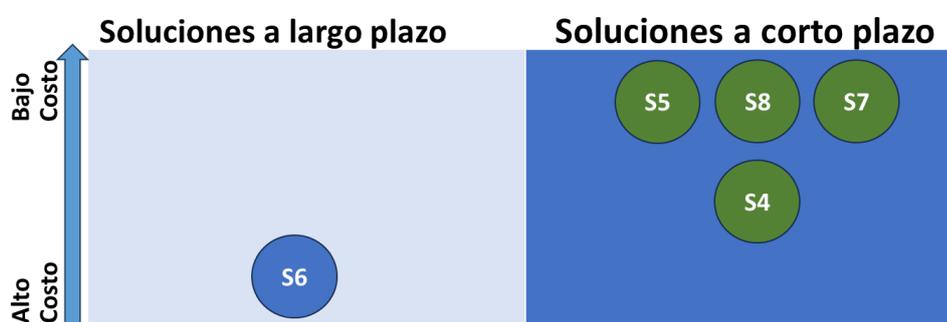
La información presentada en la tabla del análisis de priorización se la puede resumir en una matriz de impacto esfuerzo figura 34, usamos esta herramienta con el objetivo de discriminar cuales son soluciones efectivas, es decir, las soluciones que requieran menos recursos y que tengan un resultado significativo para nuestra variable de respuesta que es el porcentaje de merma de la línea de oxígeno.

Figura 34 *Análisis de Priorización*

2.4.4 Selección de Soluciones

Una vez determinadas las soluciones con alto impacto y bajo esfuerzo, las clasificamos de acuerdo con el costo asociado a su puesta en marcha, por dicha razón separamos en 2 tipos de soluciones; la primera son soluciones a largo plazo debido a su costo considerable y el segundo soluciones a corto plazo con costo mínimo o incluso 0, que serán las que implementaremos.

Figura 35 Selección de Soluciones



Las soluciones seleccionadas para implementar son:

Tabla 15 Soluciones Seleccionadas

Causa	Solución	
Purga de oxígeno en líneas de llenado	Implementación de canastilla de recolección de oxígeno.	S4
Medidores de presión con incertidumbre	Estandarización de las presiones de llenado.	S5
Defectos e inconformidades en los envases de alta presión	Elaboración del diagrama de flujo del proceso.	S7
	Elaboración de manuales de procedimientos	S8

2.4.5 Plan de implementación

Se elaboró un plan de implementación con las soluciones seleccionadas con el objetivo de detallar de una manera precisa cómo se iban a implementar las soluciones, así como describir donde se implementaría, cuándo, los responsables y el costo asociados a cada solución.

En la tabla 16 se muestra de una manera más detallada el plan de implementación, el cual fue presentado a los clientes claves y se socializó con los principales involucrados de manera que quedó establecido la implementación que nos ayudó a recolectar datos necesarios para la comparación de la situación antes y después del uso de las soluciones.

Tabla 16 *Plan de implementación*

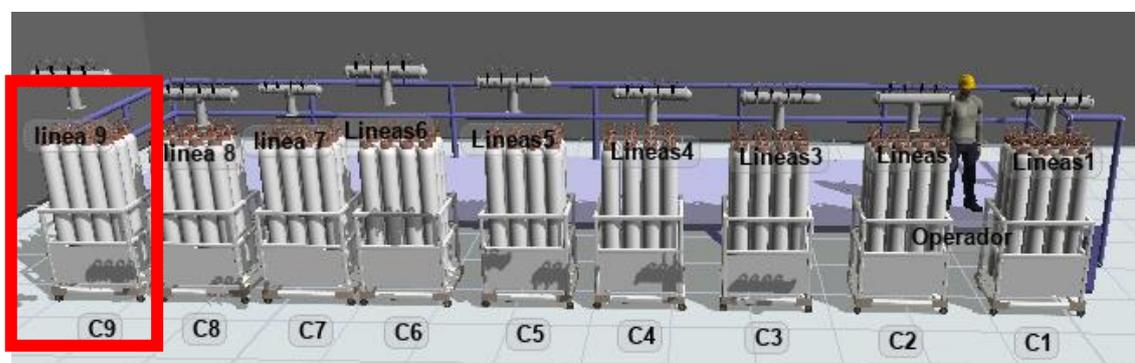
Causa Raíz	Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	Costo	Estado
Falta de normas claras y de control sobre el volumen mínimo de oxígeno que debe liberarse	Implementación de canastilla de recolección de oxígeno	Porque permitiría recolectar el oxígeno que se desperdiciaba al final de la producción, logrando que se disminuya la cantidad de merma de oxígeno	Al finalizar la jornada se conectaría una canastilla a cualquier rack y se descargaría el oxígeno sobrante, esta canastilla será llenada en su totalidad el día siguiente	En el área de producción gaseosa	8 de enero del 2025	Personal de producción y líderes del proyecto	\$ 100.00	Por comenzar
Ausencia de medidores calibrados	Estandarización de las presiones de llenado	Porque tener un rango de presiones para detener el llenado y sobrellenar los envases por encima de lo necesario, provoca un aumento en el porcentaje de pérdida de oxígeno	Elegir dos racks de la línea y utilizar las presiones obtenidas según los cálculos realizados para detener el llenado de los envases	En el área de producción gaseosa	8 de enero del 2025	Personal de producción y líderes del proyecto	\$ 10.00	Por comenzar
Ausencia de flujo de proceso para el procedimiento	Elaboración de diagrama de proceso	Porque al no existir un flujo específico del proceso de llenado, los operarios realizan el proceso de diferentes formas	Mediante el mapeo de las actividades realizadas por los operadores en un software de modelado de procesos, actualizando de manera específica el flujo del procedimiento de llenado de envases	En el área de producción gaseosa	6 a 7 enero del 2025	Personal de producción y líderes del proyecto	\$ 10.00	Por comenzar
	Elaboración de manuales de procedimientos	Porque al no existir un manual de procedimiento detallado permite que los procedimientos se los realice de diferentes maneras y a criterio de cada operador	Por medio de la elaboración de un formato se establecerán los procedimientos detallados del proceso, su alcance, objetivo y políticas aplicables	En el área de producción gaseosa	6 a 7 de enero del 2025	Personal de producción y líderes del proyecto	\$ 10.00	Por comenzar

2.5 Implementación

2.5.1 Liberación del oxígeno contenido en la línea en una canastilla con envases vacíos:

Tomando en cuenta que, al momento de terminar de llenar los envases planeados una cierta cantidad de oxígeno queda contenido en la línea de llenado y que este tiene que ser liberado al finalizar la producción, se implementó un método de recolección mediante una canastilla vacía al finalizar la jornada. Se lo realizará de la siguiente manera: Se utilizará una canastilla con 12 envases vacíos, los cuales se conectarán a la línea una vez finalizado el llenado de todos los envases planificados, a la canastilla se le vaciará el oxígeno contenido en la línea de tal manera que se busque el equilibrio en las presiones evitando así el desperdicio de aproximadamente de más la mitad del oxígeno contenido en la línea, esta canastilla al día siguiente será llenada en su totalidad.

Figura 36 Implementación de canastilla libre



Para estimar la cantidad de oxígeno que se recuperará al implementar la solución 4, debemos en primer lugar calcular la presión de equilibrio que tendría el sistema de tubería junto con los envases conectados, para esto usaremos la ley de Boyle la cual indica que, a temperatura constante, el producto de la presión y el volumen iniciales es igual al producto de la presión y el volumen finales:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 \quad (2.6)$$

Entonces, la presión 2 es la presión de equilibrio a la que el sistema tendría la misma presión, V_1 es el volumen de la línea de llenado y V_2 el volumen la línea más los envases (tubería y envases)

$$P_2 = P_1 * \frac{V_1}{V_2} \quad (2.7)$$

$$P_{equilibrio} = P_{llenado} * \frac{V_{sistema}}{V_{sistema+envases}} \quad (2.8)$$

El volumen del sistema es igual al volumen de la tubería y el volumen del rack

$$V_{sistema} = V_{tubería} + V_{tubo\ de\ reparto} + V_{chicotes} \quad (2.9)$$

- **Tubo de reparto del rack**

$$D = \frac{3}{8} in \quad l = 0.5$$

Convertimos las pulgadas de diámetro a metros para posteriormente sacar el volumen, el cálculo del volumen de del tubo, aquí usamos la ecuación del volumen de un cilindro esto debido a la estructura interna del tubo.

$$D = \frac{3}{8} in * \frac{0.0254m}{1 in} = 0.009525$$

$$V = \pi * r^2 * l \quad (2.10)$$

$$V_{tubo\ de\ reparto} = \pi * \left(\frac{0.009525}{2}\right)^2 * 0.5$$

$$V_{tubo\ de\ reparto} = 3.563 * 10^{-5} m^3$$

Como se trabaja con toda la línea se debe multiplicar el volumen obtenido para los 18 racks de la línea.

$$V_{tubo\ de\ reparto} = 3.563 * 10^{-5} m^3 * 18$$

$$V_{tubo\ de\ reparto} = 6.4134 * 10^{-4} m^3$$

- **Chicotes (mangueras de que conectan la línea con los envases)**

$$D = \frac{1}{4} in \quad l = 36in$$

Convertimos las pulgadas a metros para calcular el volumen de cada chicote

$$D = \frac{1}{4} in * \frac{0.0254m}{1 in} = 0.00635 m$$

$$l = 36 \text{ in} * \frac{0.0254}{1 \text{ in}} = 0.9144 \text{ m.}$$

$$V = \pi * r^2 * l \quad (2.11)$$

$$V_{chicote} = \pi * \left(\frac{0.00635}{2}\right)^2 * 0.9144$$

$$V_{chicote} = 2.89583324 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Como se está trabajando con toda la línea se debe multiplicar el volumen obtenido para los 18 racks de la línea y los 12 chicotes de cada rack.

$$V_{chicotes} = 2.89583324 * 10^{-5} \text{ m}^3 * 18 * 12$$

$$V_{chicotes} = 0.006254999798 \text{ m}^3$$

- **Tubería principal**

$$D = \frac{1}{2} \text{ in} \quad l = 150 \text{ m}$$

Convertimos las pulgadas a metros para calcular el volumen de la tubería principal

$$D = \frac{1}{2} \text{ in} * \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 0.0127 \text{ m}$$

$$V = \pi * r^2 * l \quad (2.12)$$

$$V_{tubería} = \pi * \left(\frac{0.0127}{2}\right)^2 * 150$$

$$V_{tubería} = 0.01900153047 \text{ m}^3$$

Ahora el volumen de la línea es:

$$V_{sistema} = V_{tubería} + V_{tubo \text{ de reparto}} + V_{chicotes} \quad (2.13)$$

$$V_{sistema} = 0.01900153047 + 0.006254999798 + 0.00064134$$

$$V_{sistema} = 0.02589787027 \text{ m}^3$$

Por otra parte, el volumen 2 es el volumen final donde se incluyen los envases.

$$V_{sistema+envases} = V_{sistema} + V_{envases} \quad (2.14)$$

Como se está trabajando con envases con capacidad en litros convertimos el volumen del sistema de m³ a litros.

$$V_{sistema} = 0.02589787027 \text{ m}^3 = 25.898 \text{ L}$$

$$V_{sistema+envases} = 25.898 + 50 * 12 = 625.898 \text{ L}$$

Entonces, la presión de equilibrio es:

$$P_{equilibrio} = P_{llenado} * \frac{V_{sistema}}{V_{sistema+envases}} \quad (2.15)$$

$$P_{equilibrio} = 200 \text{ Bar} * \frac{25.898 \text{ L}}{625.898 \text{ L}}$$

$$P_{equilibrio} = 8.275469805 \text{ Bar}$$

Finalmente, podemos calcular el volumen que se desperdició, y el que se recuperó.

Primero calculamos el contenido inicial de la tubería antes de implementar la mejora.

$$D = \frac{1}{2} \text{ in} \quad l = 300 \text{ m} \quad P = 200 \text{ Bar} \quad T = 27^\circ \text{C}$$

Convertimos las pulgadas a m, la presión a unidades de Pascales y la temperatura a °

Kelvin.

$$D = \frac{1}{2} \text{ in} * \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 0.0127 \text{ m}$$

$$P = 200 \text{ Bar} * \frac{100000 \text{ Pa}}{1 \text{ Bar}} = 20000000 \text{ Pa}$$

$$T = 27 + 273 = 300^\circ \text{K}$$

$$l = 300 \text{ m}$$

Cálculo del volumen de del tubo, aquí usamos la ecuación del volumen de un cilindro esto debido a la estructura interna del tubo.

$$V = \pi * r^2 * l \quad (2.16)$$

$$V = \pi * \left(\frac{0.0127}{2}\right)^2 * 300$$

$$V = 0.03800306093 \text{ m}^3$$

Por medio de la ley de gases ideales, se puede estimar la cantidad en Kg de oxígeno gaseoso contenido en el tubo de reparto despejando el número molar

$$PV = nRT \quad (2.17)$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{20000000 \text{ Pa} * 0.03800306093 \text{ m}^3}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * 300 \text{ K}}$$

$$n = 304.7314644 \text{ moles}$$

Ahora se despeja la masa molar del oxígeno (O₂=0.032Kg/mol)

$$n = \frac{m}{M} \quad (2.18)$$

$$m = n * M$$

$$m = 304.7314644 \text{ moles} * 0.032 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}}$$

$$m = 9.751406862 \text{ Kg}$$

Ahora, calculamos el oxígeno contenido en los envases (recuperado).

$$P = 8.275469805 \text{ Bar} \quad T = 27^{\circ}\text{C} \quad V = 50 \text{ L}$$

Convertimos las pulgadas a m, la presión a unidades de Pascales y la temperatura a Kelvin.

$$P = 8.275469805 \text{ Bar} * \frac{0.986923 \text{ Atm}}{1 \text{ Bar}} = 8.889711 \text{ Atm}$$

$$T = 27 + 273 = 300^{\circ}\text{K}$$

Por medio de la ley de gases ideales, se puede estimar la cantidad en Kg de oxígeno gaseoso contenido en el tubo de reparto despejando el número molar

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{8.889711 \text{ Atm} * 50 \text{ L}}{0.08206 \frac{\text{L} * \text{Atm}}{\text{mol} * \text{K}} * 300\text{K}}$$

$$n = 16.58797159 \text{ moles}$$

Ahora se despeja la masa del oxígeno (masa molar O₂=0.032Kg/mol)

$$n = \frac{m}{M}$$

$$m = n * M$$

$$m = 16.58797159 \text{ moles} * 0.032 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}}$$

$$m = 0.530815091 \text{ Kg}$$

Esto lo multiplicamos por el número de envases

$$m = 0.530815091 \text{ Kg} * 12 = 6.369781092 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, esta solución permite recuperar un estimado de 6.37 Kg diarios que mensualmente serian:

$$m_{\text{mensual}} = 6.369781092 \text{ Kg} * 24$$

$$m_{\text{mensual}} = 152.8747462 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}}$$

La solución 4 permite recuperar una aproximado de 152 Kg mensuales

Consecuentemente, el oxígeno que **desperdicia** el sistema diario es:

$$m_{desperdiciada} = m_{inicial} - m_{envases} \quad (2.19)$$

$$m_{desperdiciada} = 9.751406862 \text{ Kg} - .369781092 \text{ Kg}$$

$$m_{desperdiciada} = 3.38162577 \text{ Kg}$$

2.5.2 Estandarización de las presiones de llenado de GOX:

La solución (5) de estandarización de las presiones de llenado surge a partir de la verificación de las causas, debido a que se observó que los operadores terminaban el llenado de acuerdo con lo expuesto en documento "Manual de procedimiento de llenado de envases de alta presión", el cual no establece una cifra exacta, si no un margen estimado, estos márgenes se establecieron debido a que al momento de llenar el envase este se expande por la presión que ingresa y al finalizar este se comprime a tal punto que la presión final sea de 150 o 200 Bar dependiendo del envase. Este sobrellenado por encima del necesario al no estar controlado provoca un aumento en el porcentaje de merma del proceso, por lo cual, esta solución ayudará a controlar la variable de respuesta.

Para el caso de los envases de alta presión al momento de llenarse este se expande debido a la presión ejercida por el gas, por dicha razón buscamos el factor de expansión térmica del acero ($\beta=0.000012$)

$$V_2 = V_1 * (1 + \beta * \Delta T) \quad (2.20)$$

Mediante la ley combinada de gases ideales que sirve para conocer la variación de un gas bajo ciertas condiciones del entorno y considerando el factor de expansión de los envases, podemos determinar la presión a la que se debe llegar para que el cilindro en condiciones normales tenga una presión de 200 o 150 Bar.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.21)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_1 * (1 + \beta * \Delta T)}{T_2}$$

$$P_1 = P_2 * \frac{T_1}{T_2} * \frac{V_1}{V_1 * (1 + \beta * \Delta T)}$$

$$P_1 = P_2 * \frac{T_1}{T_2} * \frac{1}{(1 + \beta * \Delta T)}$$

Para que la presión final sea 150 Bar (P2=150 Bar) a una temperatura T2 de 50 °c y T1 de 27°c se debe llenar a 2343 PSI:

$$P_1 = 150 * \frac{323}{300} * \frac{1}{(1 + 12 * 10^{-6} * -23)} = 161.5445863 \text{ Bar}$$

$$P_1 = 161.5445863 \text{ Bar} * \frac{14.5 \text{ PSI}}{\text{Bar}} \cong 2343 \text{ PSI}$$

Con esto, se puede calcular la diferencia en el llenado actual con el sugerido en PSI:

$$\Delta P = P_{\text{actual}} - P_{\text{sugerida}} \quad (2.22)$$

$$\Delta P = 2500 \text{ PSI} - 2343 \text{ PSI}$$

$$\Delta P_{\text{Envase}} = \frac{157 \text{ PSI}}{\text{Envase}}$$

$$\Delta P_{\text{rack}} = \frac{157 \text{ PSI}}{\text{Envase}} * \frac{12 \text{ envases}}{1 \text{ rack}} = 1884 \text{ PSI/rack}$$

Por lo tanto, si se llena a la presión sugerida se obtendrá un ahorro aproximado del 80% de un envase de 150 Bar por cada rack.

Para que la presión final sea 200 Bar (P2=200 Bar) a una temperatura T2 de 50 °c y T1 de 27°c se debe llenar a 3133 PSI:

$$P_1 = 200 * \frac{324}{300} * \frac{1}{(1 + 12 * 10^{-6} * -24)} = 216.0622259 \text{ Bar}$$

$$P_1 = 216.0622259 \text{ Bar} * \frac{14.5 \text{ PSI}}{\text{Bar}} \cong 3133 \text{ PSI}$$

Ahora, procedemos a calcular la cantidad de PSI ahorrada en envases de 200 Bar

$$\Delta P = P_{\text{actual}} - P_{\text{sugerida}}$$

$$\Delta P = 3400 \text{ PSI} - 3133 \text{ PSI}$$

$$\Delta P_{\text{Envase}} = \frac{267 \text{ PSI}}{\text{Envase}}$$

$$\Delta P_{\text{rack}} = \frac{267 \text{ PSI}}{\text{Envase}} * \frac{12 \text{ envases}}{1 \text{ rack}} = 3204 \text{ PSI/rack}$$

Para el caso de envases de 200 Bar si se llenase a la presión sugerida de 3133 PSI se estaría ahorrando aproximadamente más 1 envases por cada rack llenado.

2.5.3 Actualización de diagrama de flujo del proceso de llenado de GOX:

Para el caso de la solución 7, como antecedente se tiene que solo existe un diagrama de flujo el cual representa como es el flujo de las actividades, pero del envase, por tal razón al no haber definido un flujo puntual para las actividades de los operadores.

En muchas ocasiones los operadores solían llenar envases con válvulas dañadas o pruebas hidrostáticas vencidas, estos al no verificar la trazabilidad del envase antes de iniciar el llenado, conectaban los envases y los llenaban hasta que a la mitad del llenado empezaban el proceso de cargar el rack al ICC y en ese momento recién verificaban las inconformidades en los envases, una vez detectado esto debían esperar a que el envase se llene para que posteriormente liberen el oxígeno contenido en el envase y lo reporten como defectuoso para que mantenimiento lo repare o realice la prueba.

Por dicha razón, se procedió a realizar el levantamiento mediante observación de las actividades de los 3 operadores encargados de la línea de llenado gaseosa de oxígeno y determinar la secuencia de pasos correctas para mitigar las perdidas por envases defectuosos. El diagrama de flujo para GOX medicinal e industrial se detalla en el Anexo1.

2.5.4 Actualización de manuales de procedimientos del proceso de llenado de GOX:

Teniendo en cuenta que se actualizaron los procesos de llenado para el proceso de oxígeno gaseoso, también se actualizaron los manuales de procedimientos con formatos personalizados, con el objetivo de que si entra personal nuevo pueda tener conocimiento

de cómo funciona el proceso, así como describir los nuevos pasos a seguir según las implementaciones de soluciones seleccionadas, entre las cuales destacan la carga de envases y racks en el ICC al inicio de la actividad, así como descargar la línea de llenado al final de cada jornada en una canastilla libre.

En el Anexo 2, se puede visualizar dichos manuales de procedimientos mencionados anteriormente los cuales fueron entregados respectivamente al jefe de la línea de producción y al jefe del área de calidad.

2.5.5 Capacitación del personal

Una vez diseñada, socializada y aprobada las soluciones por nuestro key costumers, se procedió a implementar las soluciones mediante socialización y capacitación de cada uno de los operadores de la línea de llenado de GOX. Cada una de las soluciones fueron socializadas en el siguiente orden; primero se explicó la estandarización de las presiones de llenado, posterior se socializó y determino la persona encargada de descargar la línea después del último ciclo de llenado, posteriormente, se manifiesto como debería ser el flujo de cada una de las actividades del proceso de llenado, así como se enfatizó cuáles eran los cambios principales en el flujo y finalmente se expuso el manual de procedimiento actualizado con las políticas creadas en base a las mejoras implementadas. Esta capacitación fue operador por operador en la zona de llenado debido a la ocupación de estos por la producción planificada para ese día. además, se socializo con el contralor de la empresa como la estandarización de las presiones puede generar un ahorro económico debido al costo asociado de producción de la presión que se está llenando demás, esto es posible solo si se implementa la solución 6 planteada en la etapa de mejora.

Figuras 37 *Implementación de soluciones*



Capítulo 3

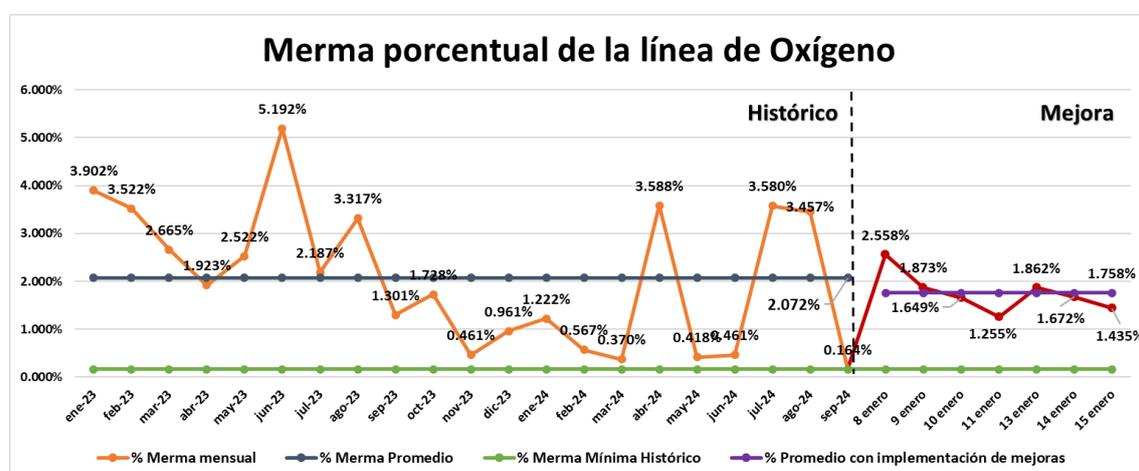
3. Resultado de soluciones

En esta sección se presentan los resultados de las 4 mejoras implementadas en el proceso de llenado GOX, estas se las realizaron con la finalidad de reducir la merma porcentual de la línea de oxígeno y en conjunto con el desarrollo de la metodología DMAIC reducir la variabilidad del proceso. Debido a contratiempos con la planificación no se pudieron recolectar una cantidad considerable de datos para realizar un análisis robusto, sin embargo, se obtuvieron una muestra de 7 observaciones que son con las que trabajamos como resultados del proyecto.

3.1.1 Mejora del proceso: Serie de Tiempo

La figura 38 muestra los resultados de la variable de respuesta antes y después de la socialización e implementación de las mejoras, se tiene que desde el 2023 hasta antes de iniciar el proyecto agosto 2024 el promedio de merma del proceso era de 2.07%, sin embargo, después de las fases de Definición, Medición y Análisis, con la implementación de las soluciones de estandarización de las presiones de llenado, utilización de una canastilla con envases para descarga de la línea, actualización del diagrama de flujo de las actividades del proceso de llenado y de los manuales de procedimientos, se observó

Figura 38 Merma porcentual de la línea de oxígeno con implementación de soluciones



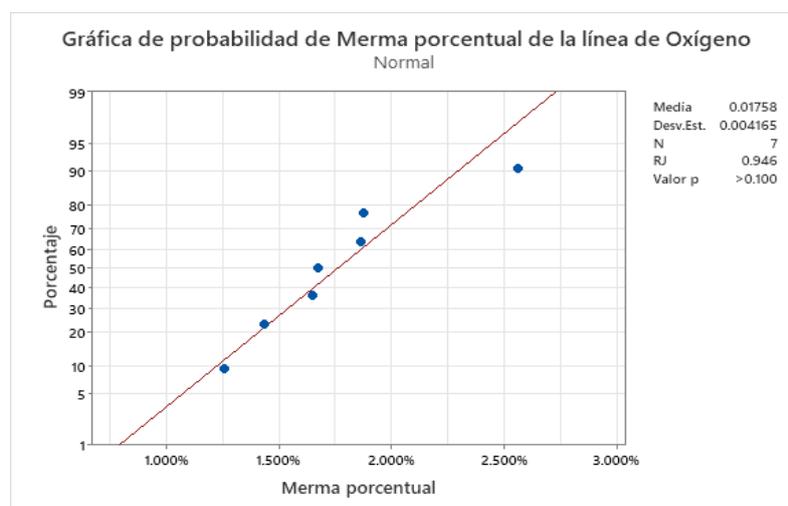
reducción considerable del porcentaje de merma del proceso, llegando a estar en un

promedio de 1.76%, con tendencia decreciente, es decir con forme pase el tiempo, se siga controlando y capacitando continuamente a los operadores, la merma del proceso decrecerá a cifras menores a las obtenidas en este informe.

3.1.2 Prueba de normalidad

Con los datos obtenidos del 8 a 15 de enero de 2025 se realizó una prueba de normalidad Ryan-Joiner debido a que se recopiló una data pequeña, la cual es similar a la

Figura 39 Prueba de normalidad con implementación de soluciones

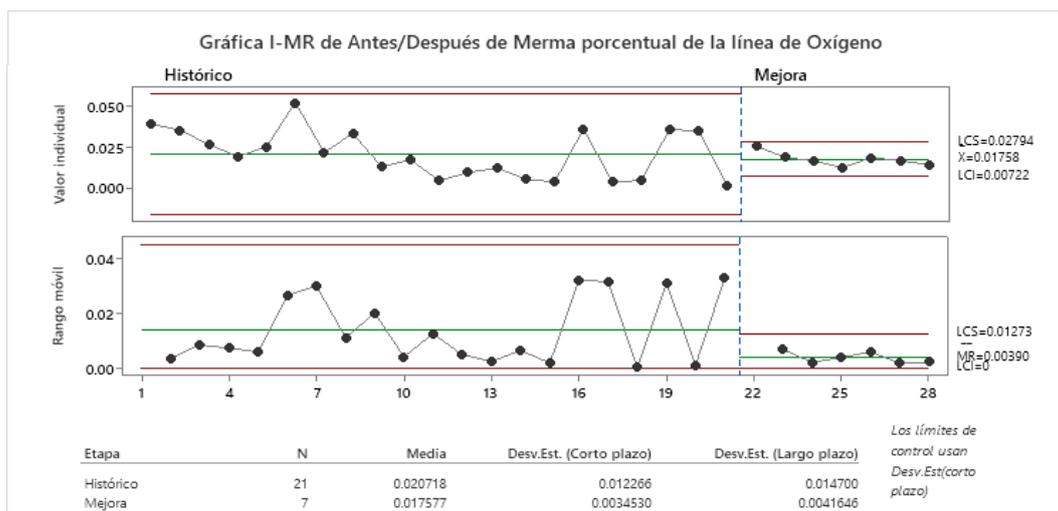


prueba Shapiro-Wilk y es la que se recomienda para realizar pruebas a muestras pequeñas, a partir de la prueba se obtuvo un valor P mayor a 0.1 el cual es mayor a nuestro nivel de significancia del 0.05, esto indica que los datos obtenidos de la merma se ajustan a una distribución normal.

3.1.3 Gráfica de Control

Posterior a identificar la distribución de los datos, se verifica si el proceso una vez implementada las mejoras se encuentra bajo control, con la utilización de la gráfica de control I-MR obtenemos una comparación entre el estado inicial del proceso y el proceso mejorado, donde apreciamos que los límites de control se han reducido drásticamente, esto es directamente proporcional a la variación del proceso, a pesar de haber esa reducción en los límites observamos en la figura 40 que el proceso se encuentra bajo control, lo que indica que las mejoras han impactado positivamente a la reducción de la variable de respuesta, en síntesis el proceso está bajo control estadístico.

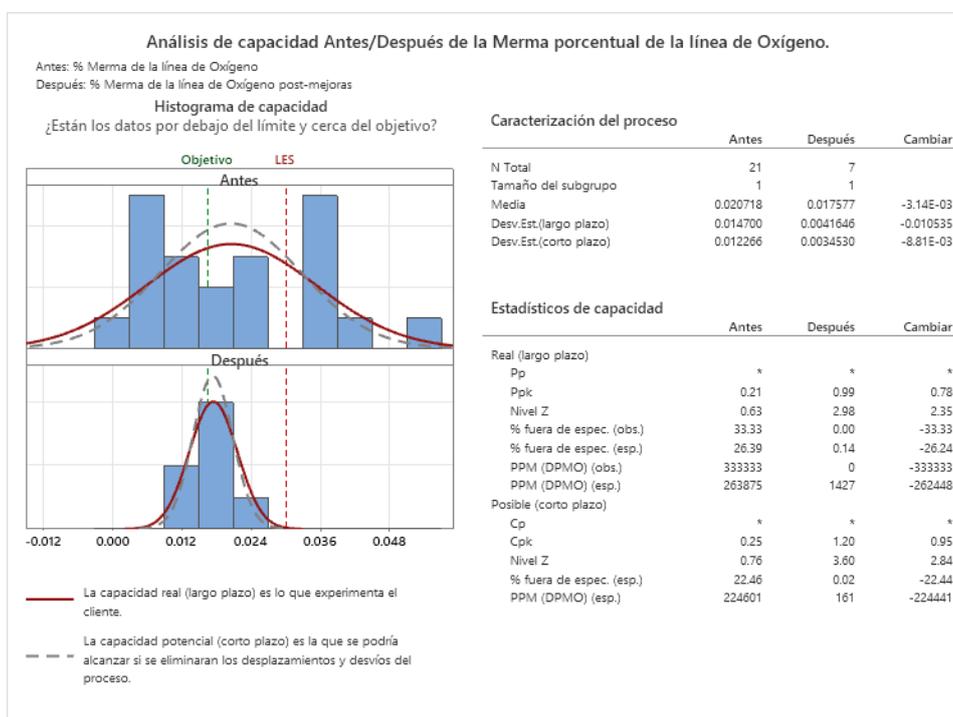
Figura 40 Gráfica de control con implementación de soluciones



3.1.4 Análisis de Capacidad

Para el análisis de la capacidad del proceso se realizó la misma comparativa del estado inicial vs estado post mejoras, en donde utilizamos Cp para medir el rendimiento del proceso en donde obtuvimos que el proceso tuvo una mejora de 0.95 puntos pasando de un proceso que requería control inmediatamente a un proceso adecuado ($Cp=1.20$) que puede seguir mejorando con el control, la capacidad a largo plazo Ppk también incremento 0.78 punto convirtiéndose en un proceso casi adecuado ($Ppk=0.99$), por lo que, se debe seguir el control y capacitación continua para que este siga capaz de cumplir con las especificaciones de estar por debajo del 3% de merma, por otra parte el proceso es más capaz de llegar o incluso estar por debajo del objetivo de 1.65% de merma ($Cpm=1.12$, adicionalmente, se espera que por cada 1000000 de observaciones de la merma porcentual de la línea 1427 tomas estarán fuera del 3% permitido esto significa una reducción de aproximadamente 99.46% de las cantidades fuera de lo permitido. En conclusión, el proceso a corto y largo plazo es capaz de cumplir con las especificaciones de estar por debajo del límite de merma permitido y cumplir con el objetivo.

Figura 41 Análisis de capacidad con implementación de mejoras

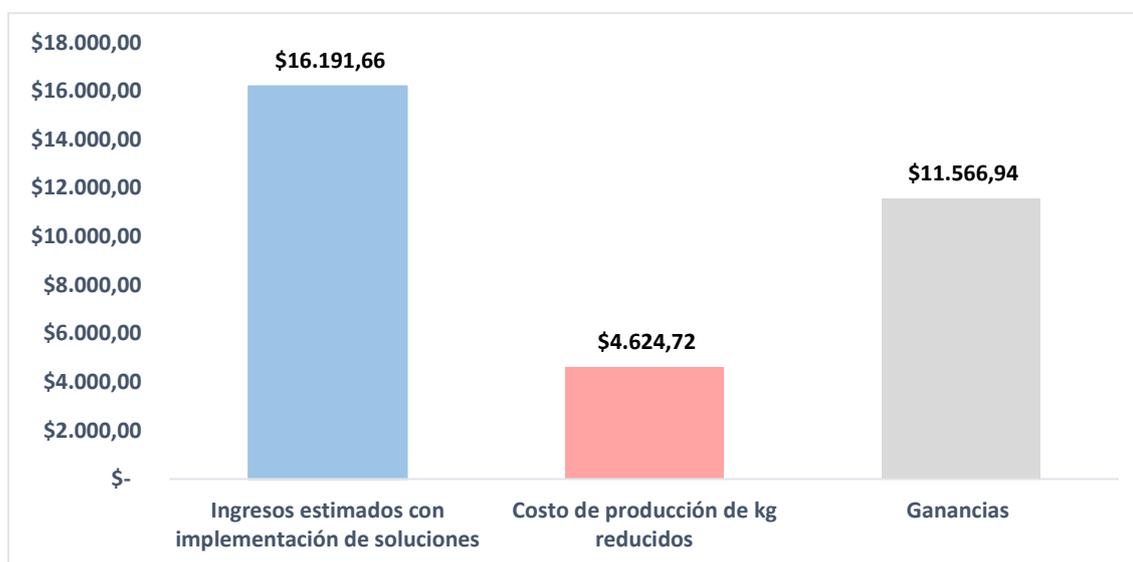


3.2 Triple Bottom Line

3.2.1 Económico

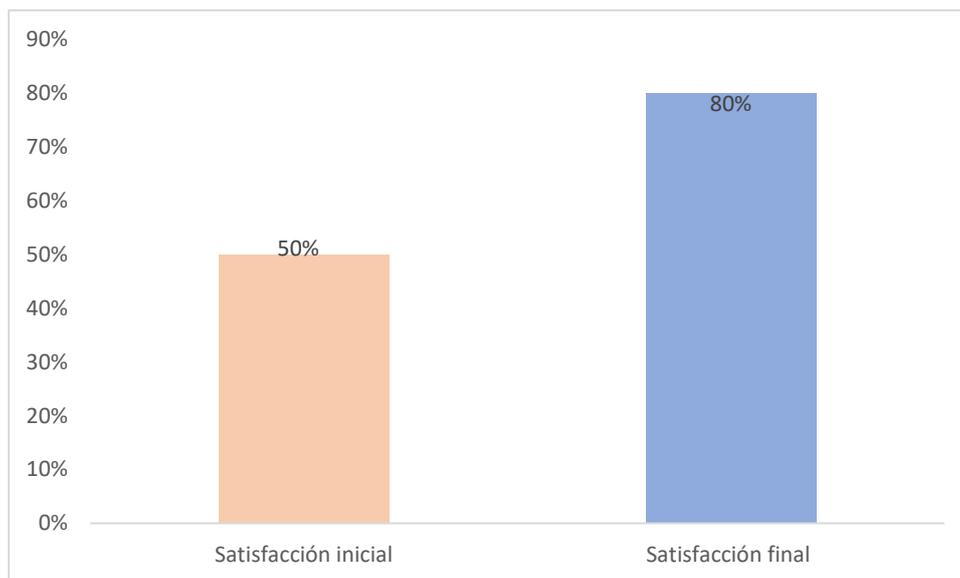
Considerando las soluciones implementadas, en el aspecto económico se logró representar ganancias potenciales con respecto a la reducción de la merma en la línea de oxígeno. Teniendo en cuenta los costos de producción de oxígeno y el costo de venta, se logró obtener ganancias estimadas de la implementación en \$11.566,94

Figura 42 Beneficios esperados de la implementación de las soluciones



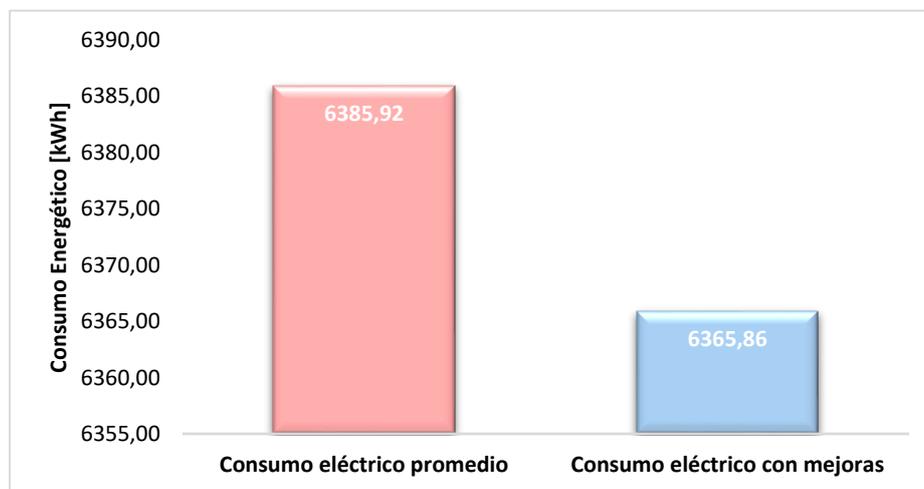
3.2.2 Social

En la parte del indicador social, el objetivo principal era aumentar el grado de satisfacción de los operadores con respecto a las actividades diarias que debían realizar, realizando encuestas a los principales operadores involucrados y compartiendo las soluciones a implementarse, se logró un aumento de satisfacción del 30%, pasando de un 50% inicial a un 80% al implementar las soluciones.

Figura 43 Satisfacción de los operadores

3.2.3 Ambiental

Con respecto al indicador ambiental lo que se buscaba lograr era una reducción del uso de la bomba, lo que repercutiría en la reducción de energía por el uso de las bombas que alimentan la línea de llenado de oxígeno. Finalmente se logró una reducción del consumo de energía de la bomba en 20.06 KW/h, la cual se puede evidenciar en la figura 43.

Figura 44 Consumo de energía reducida

3.3 Plan de control

En la tabla 17 se puede evidenciar el plan de control presentado, el cual tiene el fin de mantener las soluciones proporcionadas a largo plazo, es por ello que se describe qué se tiene que realizar, los responsables a cargo de la tarea y cada cuanto se debe llevar a cabo este plan de control.

Tabla 17 *Plan de Control*

Qué	Quién	Por qué	Cómo	Cuándo	Dónde	Cuánto
Controlar el porcentaje de merma de la línea de llenado	Jefe de Calidad	Porque permitirá conocer si el proceso aumenta su variabilidad y con esto podrá buscar en las actividades críticas cuál es la causa raíz del incremento de la merma	Mediante el manejo de información proporcionada en el SSystem deberá utilizar la plantilla de Excel creada con la que se cálculo la variable de respuesta en la etapa de Definición	Mensual	En el área de producción	\$0,00
Registrar diariamente la cantidad de envases en los que se recolecta el Oxígeno	Operador de turno	Porque permitiría conocer el volumen de oxígeno sobrante recolectado de las líneas al final la jornada	Registrar la cantidad de envases y el rack en el que se realizó la descarga.	Diario	En el área de producción	\$0,00
Registro de los envases con válvulas dañadas o con pruebas hidrostáticas vencidas	Operador de turno / Jefe de Calidad	Porque con el registro se levantara un histórico y con esto se medirá la efectividad de las soluciones 7 y 8 implementadas	Registrar diariamente en el formato proporcionado de la empresa en la parte de observaciones la cantidad de envases con defectos que se llenaron y luego se descargaron por los defectos.	Diario	En el área de producción	\$0,00
Revisión semanal de las configuraciones de presión y del cumplimiento de los estándares definidos.	Operador de turno / Jefe de Calidad	Para evitar que se siga sobrelenando los envases por encima de lo necesario	Inspeccionar semanalmente el estado de los medidores de presión y evaluar los registros de los estándares definidos	Semanal	En el área de producción	\$0,00
Evaluación trimestral del flujo de trabajo y validación del cumplimiento	Jefe de Producción	Para tener un indicador del porcentaje de cumplimiento en la ejecución de las actividades según el flujo definido	Realizar observaciones directas de la ejecución de las actividades y evaluar los registros	Trimestral	En el área de producción	\$0,00
Inspección semestral del contenido y la aplicación de los manuales	Jefe de Producción / Jefe de Calidad	Asegurar que se cumplan los procedimientos establecidos en los manuales	Realizar auditorías sobre la aplicación de los manuales	Semestral	En el área de producción	\$0,00

Capítulo 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- ❖ Se identificaron las actividades claves en el proceso de llenado de oxígeno, destacando la recolección del oxígeno contenido en la línea como una oportunidad para reducir pérdidas, permitiendo recuperar cerca de 152,87 kg/mes de oxígeno que antes se liberaba al ambiente.
- ❖ El análisis estadístico confirmó que el proceso está bajo control, logrando una reducción del 71,8% en la variabilidad gracias a la estandarización de las presiones.
- ❖ Producto de las mejoras en la eficiencia operativa, la pérdida promedio de oxígeno se redujo del 2.072% al 1.758%, lo que representa una disminución del 16.4%, alineándose con el objetivo de minimizar la merma.
- ❖ Las mejoras implementadas llevaron a un proceso optimizado con una capacidad adecuada y pérdidas por debajo del 3%, asegurando un monitoreo constante para mantener la estabilidad y controlar las posibles variaciones en el proceso.

4.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda la implementación de medidores digitales para mediciones más precisas y de esta manera reducir más las pérdidas de la línea debido a que actualmente se está dependiendo de la apreciación y del criterio del operador.
- ❖ Se recomienda darle seguimiento diario a las actividades y capacitación constante sobre el orden de las actividades del llenado a los operadores.
- ❖ Es recomendable realizar auditorías periódicas sobre las actividades de cada proceso de llenado, de manera que se mantenga actualizados los flujos de los procesos, así como sus manuales.

- ❖ Es recomendable implementar automatizaciones en los reportes mensuales de la pérdida de oxígeno, de manera que se presente la información actualizada y sea más fácil la lectura de sus reportes.

Bibliografía

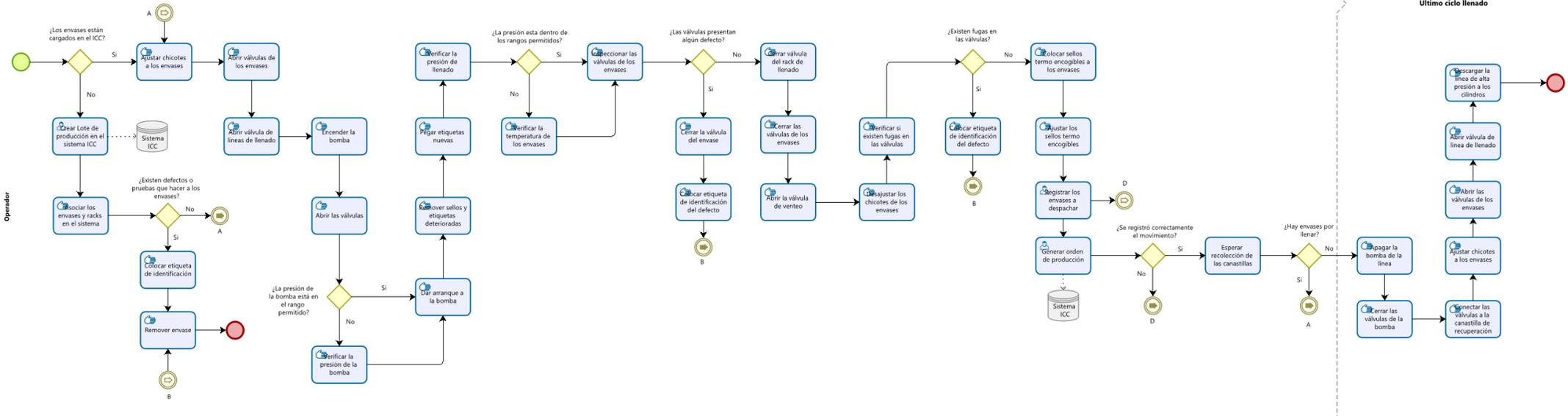
- Aguwa, C., Hessam Olya, M., & Monplaisir, L. (2017). Modeling of fuzzy-based voice of customer for business decision analytics. *Knowledge-Based Systems*, 136-156.
- Baro, M., Piña, M., Valdiviezo, C., & Amaya, R. (2020). El Proceso DMAIC: Herramientas de Calidad en el Desarrollo de Proyectos de Mejora de la Calidad. *Revista Científica RIINN*.
- Brown, C. (2019). Why and how to employ the SIPOC model. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, XII(3), 198-210.
- Calla, M., Maldonado, R., Rodríguez, C., Farfán, J., & Quispe, N. (2023). Análisis de la aplicación de metodología DMAIC en procesos de producción de una empresa de alimento. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, VII(3), 6907-6932.
- Connecting Visions. (18 de Mayo de 2022). *¿Qué es la Voz del Cliente (VOC) y cómo utilizarlo?* Obtenido de Connecting Visions: <https://connectingvisionsgroup.com/ideas/experiencia-de-cliente/que-es-voz-cliente/>
- García González, R., Paredes Castañeda, J. A., & Bayona Ibáñez, E. (2023). DMAIC como herramienta para implementar un sistema de mejora para incrementar la productividad en la industria del. *Revista Ingenio*, XX(1), 8-21. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/journal/814/8144147004/>
- Gómez Bolívar, C. D. (2019). *Guía metodológica para la aplicación del Lean Six Sigma en procesos de fabricación de plásticos en multinacionales colombianas*. Monografía para optar al título de Especialista en Gerencia de la Calidad, Bogotá. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7502/1/168166-2019-II-GC.pdf>
- Landero, J. C. (2013). *Difusión de la voz del cliente en las operaciones de la empresa: el uso de six-sigma para gestionar el conocimiento*. Cuadernos de Gestión del Conocimiento Empresarial, Confederación Española de Directivos y Ejecutivos, Barcelona. Obtenido de <https://www.directivoscede.com/wp-content/uploads/2021/01/2cuaderno0000005461.pdf>

- Navarro Albert, E., Gisbert Soler, V., & Pérez Molina, A. I. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, Edición Especial*, 73-80. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.73-80/>
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012) "Megaprojects: Building Infrastructure by Fostering Engineering Collaboration, Efficient and Effective Integration and Innovative Planning"*. Panamá. Obtenido de <https://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>
- OPEX MENTOR. (2022). *Guía para la Certificación Lean Six Sigma Green Belt*. San José, Costa Rica. Obtenido de <https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2022/08/Opex-Mentor-Lean-Six-Sigma-Green-Belt.pdf>
- Pronavi, V., & Umasankar, V. (2021). Application of Six Sigma approach on hood outer panel to reduce the defect in painting peel off. *Materialstoday: Proceedings, XLVI*, 1269-1276. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321011871>

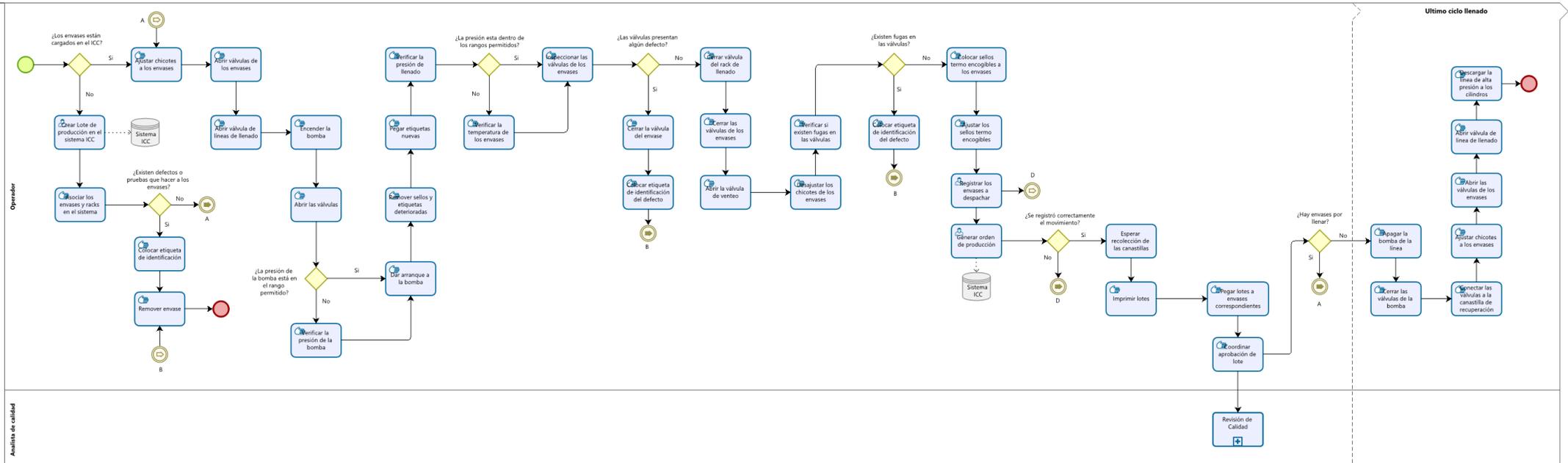
Apéndice

Llenado producción gaseosa en cilindros industriales y medicinales

Llenado oxígeno gaseoso industrial en envases de alta presión



Llenado oxígeno gaseoso medicinal en envases de alta presión



Manuales de procedimientos del llenado de oxígeno en cilindros

Objetivo:	Establecer un procedimiento seguro y eficiente para el llenado de cilindros con oxígeno industrial, garantizando la calidad del producto, el cumplimiento de normativas y la prevención de riesgos durante el proceso
Alcance:	Desde: Crear lote de producción en el sistema ICC Hasta: Descargar la línea de alta presión a los cilindros
Responsable:	Operador

Definiciones

ICC: sistema integrado de control de los cilindros de alta presión

Rack: estructura metálica diseñada para el almacenamiento y organización eficiente de mercancías

Chicotes: es el extremo libre de la tubería o conexión que se deja disponible para futuras uniones, modificaciones o ampliaciones en el sistema.

Políticas y requisitos aplicables

- a. Es responsabilidad del operador crear el lote de producción en el sistema ICC cada que se va a llenar un nuevo lote de producción.
- b. Es responsabilidad del operador asociar los cilindros a su respectivo rack de llenado.
- c. Es responsabilidad del operador realizar las tres principales pruebas de defectos a los cilindros:
 - Control de temperatura
 - Revisión de válvulas (vástagos superiores)
 - Revisión de válvulas (vástagos interiores)
- d. Es responsabilidad del operador remover etiquetas y sellos termo encogibles viejos de los cilindros.
- e. Es responsabilidad del operador colocar nuevas etiquetas y sellos termo encogibles a los cilindros que se encuentren llenos.
- f. Es responsabilidad de los operadores del área de despacho ingresar los cilindros al sistema antes de enviarlos al área de llenado.

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
1.	Condición 1 ¿Los envases están cargados en el ICC?	a. Si b. No				
2.	No Crear lote de producción en el sistema ICC	a. Ingresar al sistema ICC y crear lote de producción a despacharse.	Operador			ICC
3.	Asociar los envases y racks en el sistema	a. Pistolear los códigos de los racks y los envases distribuidos en cada rack. b. Verificar que aparezcan asociados en el sistema.	Operador			ICC
4.	Condición 2 ¿Existen defectos o pruebas que hacer a los envases?	a. Si b. No				
5.	No Ajustar chicotes a los envases	a. Ir a la Actividad 8	Operador			
6.	Si Colocar etiqueta de identificación	a. Colocar etiqueta con identificación del defecto presente en el envase.	Operador			
7.	Remover envase	a. Remover envase que contiene defectos de la canastilla a llenarse. Finaliza el procedimiento	Operador			
8.	Si Ajustar chicotes a los envases	a. Enroscar cada chicote a su respectivo envase de llenado.	Operador			

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
		b. Ajustar los chicotes con la herramienta respectiva y verificar que este bien conectado.				
9.	Abrir válvulas de los envases	a. Abrir manualmente las válvulas de los envases a llenarse.	Operador			
10.	Abrir válvula de líneas de llenado	a. Proceder a abrir la válvula de la línea de llenado.	Operador			
11.	Encender la bomba	a. Dirigirse hacia la zona de la bomba. b. Abrir la bomba respectiva con la que se va a trabajar.	Operador			
12.	Abrir las válvulas	a. Proceder a abrir las válvulas respectivas para el paso del producto.	Operador			
13.	Condición 3 ¿La presión de la bomba está en el rango permitido?	a. Si b. No				
14.	No Verificar la presión de la bomba	a. Verificar en el panel que la presión de la bomba sea la adecuada. b. Realizar los ajustes pertinentes en caso de no estar en los rangos correspondientes.	Operador			
15.	Si Dar arranque a la bomba	a. Proceder con el llenado de los envases de alta presión.	Operador			
16.	Remover sellos y etiquetas deterioradas	a. Remover los sellos y etiquetas viejas pegadas de los cilindros.	Operador			
17.	Pegar etiquetas nuevas	a. Proceder a pegar etiquetas nuevas en los cilindros como: etiqueta de precio, información general del producto, etc.	Operador			

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
18.	Verificar la presión de llenado	a. Durante el llenado de los cilindros proceder a verificar la presión de los mismos.	Operador			
19.	Condición 4 ¿La presión esta dentro de los rangos permitidos?	a. Si b. No				
20.	No Verificar la temperatura de los envases	a. Proceder a verificar la temperatura de los cilindros con la ayuda del medidor de temperatura. b. Los cilindros deben marcar una temperatura caliente lo cual denota que se están llenando.	Operador			
21.	Si Inspeccionar las válvulas de los envases	a. Proceder a verificar el estado de la válvula de manera que no esté bloqueada y permita el paso del producto. b. Colocar agua con jabón en las válvulas de los cilindros para detectar alguna fuga.	Operador			
22.	Condición 5 ¿Las válvulas presentan algún defecto?	a. Si b. No				
23.	Si Cerrar la válvula del envase	a. Cerrar la válvula del cilindro con defecto para cortar el paso del oxígeno gaseoso.	Operador			
24.	Colocar etiqueta de identificación del defecto	a. Colocar la etiqueta con la identificación del defecto que presenta el cilindro.	Operador			
25.	Remover envase	a. Ir a la actividad 7	Operador			

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
26.	No Cerrar válvula del rack de llenado	a. Cortar el paso del oxígeno una vez lleno los envases y cerrar la válvula del rack de llenado.	Operador			
27.	Cerrar las válvulas de los envases	a. Proceder a cerrar las válvulas de todos los cilindros llenos.	Operador			
28.	Abrir la válvula de venteo	a. Abrir la válvula de venteo del oxígeno de manera que se libere el oxígeno contenido en las tuberías.	Operador			
29.	Desajustar los chicotes de los envases	a. Desajustar los chicotes de los envases manualmente y con la ayuda de la herramienta pertinente.	Operador			
30.	Verificar si existen fugas en las válvulas	a. Proceder a verificar que no existen fugas en las válvulas de los cilindros. b. Colocar agua con jabón en cada uno de los cilindros en busca de fugas.	Operador			
31.	Condición 6 ¿Existen fugas en las válvulas?	a. Si b. No				
32.	Si Colocar etiqueta de identificación del defecto	a. Colocar la etiqueta con la identificación del defecto que presenta el cilindro.	Operador			
33.	Remover envase	a. Ir a la actividad 7	Operador			
34.	No Colocar sellos termo encogibles a los envases	a. Colocar los sellos termo encogibles en cada uno de los cilindros en la parte superior del mismo, sobre la llave de la válvula.	Operador			

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
35.	Ajustar los sellos termo encogibles	a. Quemar los sellos con la pistola de calor en cada uno de los cilindros llenos.	Operador			
36.	Registrar los envases a despachar	a. Pistolear los envases a despachar y registrarlo en el sistema de manera que aparezcan como producto terminado.	Operador			ICC
37.	Generar orden de producción	a. Generar la orden de producción respectiva del lote a despacharse.	Operador			
38.	Condición 7 ¿Se registró correctamente el movimiento?	a. Si b. No				
39.	No Registrar los envases a despachar	a. Ir a la Actividad 36	Operador			
40.	Si Esperar recolección de las canastillas	a. Esperar que el operador del monta carga muevas las canastillas a su zona respectiva.	Operador			
41.	Condición 8 ¿Hay envases por llenar?	a. Si b. No				
42.	Si Ajustar chicotes a los envases	a. Ir a la actividad 8	Operador			
43.	No Apagar la bomba de la línea	a. Dirigirse hacia la zona de la bomba y apagar la bomba respectiva que alimenta la línea.	Operador			

Nro.	Actividad	Descripción de la Actividad	Responsable	Control	Documento Referencia	Registro / transacción Resultante
44.	Cerrar las válvulas de la bomba	a. Proceder a cerrar las válvulas de las bombas.	Operador			
45.	Conectar las válvulas a la canastilla de recuperación	a. Conectar las válvulas del rack asignado a la canastilla de recuperación.	Operador			
46.	Ajustar chicotes a los envases	a. Enroscar cada chicote a su respectivo envase de llenado. b. Ajustar los chicotes con la herramienta respectiva y verificar que este bien conectado.	Operador			
47.	Abrir las válvulas de los envases	a. Abrir manualmente las válvulas de los envases a llenarse.	Operador			
48.	Abrir válvula de línea de llenado	a. Proceder a abrir la válvula de la línea de llenado.	Operador			
49.	Descargar la línea de alta presión a los cilindros	a. Descargar todo el oxígeno contenido al final de la jornada en los cilindros respectivos.	Operador			
		Finaliza el procedimiento				

Diagrama de Flujo

