



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

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

**Propuesta plan de mejora para disminuir los defectos
generados en el proceso de fundición, en la producción de
envases de vidrio.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Ingeniería de
Ejecución en Gestión de la Calidad
Alumno:

Roxana Abigail Molina Mella

Profesor Guía:

Juan Pablo Inostroza Saldías

2024

Dedicatoria

*Este trabajo está dedicado a las personas más importantes de mi vida
Alexander Cádiz Molina y Enzo Cádiz Molina, son quienes me dieron la fuerza
para continuar este camino, que no es fácil, pero si se puede.
Aprovecho de agradecer a mis amigos, amigas, compañeros,
compañeras y familia por sus palabras de aliento en los
momentos difíciles.*

Resumen

KEYWORDS: DMAIC, PROCESO DE FUNDICIÓN, VIDRIO

El presente trabajo de título se basa en la investigación del proceso productivo en una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de envases primarios de vidrio. El objetivo general es proponer un plan de mejora que permita disminuir los defectos derivados del proceso de fundición en Hornos y Batch House.

Para alcanzar el objetivo, se emplea un método cuantitativo descriptivo y posteriormente de diagnóstico, iniciando con el análisis del proceso de fabricación de los envases de vidrio, reconociendo las interacciones de los distintos procesos de la empresa, facilitando el entendimiento del proceso en estudio, del cual se realiza un levantamiento más detallado del proceso de fundición, identificando las variables críticas que inciden en los defectos derivados del proceso de fundición, utilizando herramientas estadísticas. Para darle continuidad al estudio, se avanza con la recolección y análisis de datos, identificando la capacidad del proceso de fundición de Hornos y Batch House. Posteriormente se inicia con el análisis de causa raíz, utilizando distintas herramientas de la calidad, para identificar y clasificar las posibles causas raíces de los incumplimientos de los requerimientos del cliente interno, terminando con la evaluación de las propuestas de mejoras y seleccionando la más viable.

En el proceso de fundición para la fabricación de envases de vidrio, las materias primas principales que se utilizan son arenas de sílice como formadores de estructura, carbonato de sodio como fundente y carbonato de calcio para la estabilización, además, de otros compuestos que modifican las propiedades físicas, como el color del vidrio, transparencia o resistencia al calor. Todos estos componentes son sometidos a temperaturas de 1400 a 1600°C en hornos de refractarios continuos, los cuales mantienen esta temperatura por largos periodos de tiempo, en una operación constante entre 8 a 10 años.

Al disminuir los defectos generados en el proceso de fundición, se obtendría un impacto positivo en los indicadores productivos y en la satisfacción de los clientes, ya que mejoraría la calidad del producto final.

Abstract

The development of this thesis is based on research into the production process in a company dedicated to the manufacture and marketing of primary glass containers. The general objective of this is to propose an improvement plan that allows reducing the defects derived from the smelting process in furnaces.

To achieve the general objective, a descriptive quantitative method is used and then a diagnostic method, starting with the analysis of the manufacturing process of glass containers, recognizing the interactions of the different processes of the company, facilitating the understanding of the process under study, from which a more detailed survey of the smelting process is carried out, identifying the critical variables that affect the defects derived from the smelting process, using statistical tools. To give continuity to the study, we will move forward with the collection and analysis of data, identifying the deviations of the critical variables identified above. Once these deviations have been identified, the root cause analysis begins, using different quality management and continuous improvement methods, to identify and classify the possible root causes of these deviations, ending with the evaluation of the improvement options to propose in the function process, selecting the most viable one.

In the casting process for the manufacture of glass containers, the main raw materials used are silica sand as structure formers, sodium carbonate as a flux and calcium carbonate for stabilization, in addition to other compounds that modify the physical properties, such as the color of the glass, transparency or heat resistance. All these components are subjected to temperatures of 1400 to 1600°C in continuous refractory furnaces, which maintain this temperature for long periods of time (8 to 10 years), with constant operation.

By reducing the defects generated in the casting process, a positive impact would be obtained on the productive indicators and on customer satisfaction, since it would improve the quality of the final product.

Índice

Dedicatoria
Resumen
Índice
Nomenclatura
1. Introducción 1
1.1 Problemática 2
1.2 Alcance 4
1.3 Limitaciones 4
1.4 Objetivo General.....5
1.5 Objetivos específicos 5
2. La industria del vidrio 6
2.1 Proceso de elaboración de envases de vidrio.....7
2.2 Proceso de fundición 10
2.3 Defectos de vidrio.....10
3. Marco teórico 12
3.1 Metodología DMAIC 12
3.1.1 Definir.....13
3.1.1.1 Diagrama SIPOC 13
3.1.1.2 Diagrama de árbol CTQ 14
3.1.1.4 Estratificación 14
3.1.1.5 Gráfico de Pareto 15
3.1.1.5 Diagrama de dispersión y correlación 15
3.1.2 Medir 16
3.1.2.1 Estadística descriptiva e inferencial 17
3.1.2.2 Índices de capacidad 17
3.1.3 Analizar 18
3.1.3.1 Análisis de causa Ishikawa.....18
3.1.3.2 Diagrama de Relaciones 19
3.1.4 Mejora.....20
3.1.4.1 Lluvia de ideas.....21
3.1.4.2 Matriz de priorización 21
3.1.4.3 Ciclo de PDCA 22
3.1.4.4 Análisis de costo beneficio 23
3.1.4.5 Carta Gantt.....23
3.1.5 Controlar 24
4. Aplicación de DMAIC 26
4.1 Definir.....26

4.2	Medir	37
4.3	Analizar	40
4.4	Mejora	551
4.5	Controlar.....	61
5.	Conclusiones y recomendaciones	62
	Bibliografía	64
	Anexos	65

Índice de Figuras

FIGURA 1-1 MAPA DE PROCESOS EMPRESA DE FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO 2

FIGURA 2-1 EFECTO DEL AHORRO DE ENERGÍA EN EL USO DE VIDRIO ROTO 6

FIGURA 2-2 FORMACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO 9

FIGURA 3-1 FLUJO CTQ.....14

FIGURA 3-2 GRÁFICO DE PARETO.....15

FIGURA 3-3 GRÁFICO DE DISPERCIÓN.....16

FIGURA 3-4 CICLO PDCA DE ISHIKAWA 22

FIGURA 3-5 CARTA GANTT 24

FIGURA 4-1 NECESIDADES DEL CLIENTE 30

FIGURA 4-2 NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE 31

FIGURA 4-3 RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN DE INCRUSTACIONES SÓLIDAS Y GASEOSAS CON VIDRIO INTERNO DE RETORNO 36

FIGURA 4-4 ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y ESTABILIDAD, INCRUSTACIONES SOLIDAS 38

FIGURA 4-5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, INCRUSTACIONES GASEOSAS.....39

FIGURA 4-6 ANÁLISIS DE CAPACIDAD, INCRUSTACIONES GASEOSAS 40

FIGURA 4-7 RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN, CULLET CON INCRUSTACIONES SÓLIDAS 44

FIGURA 4-8 RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN, CULLET CON INCRUSTACIONES GASEOSAS 45

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1-1 GRÁFICO VIDRIO INTERNO DE RETORNO POR AÑO EN TONELADAS 3

GRÁFICO 4-1 GRÁFICO DE PARETO DEFECTOS EN ÁREA DE INSPECCIÓN.....34

GRÁFICO 4-2 GRÁFICO DE TORTA DE TONELADAS REPROCESADAS EN EL HORNO B.....34

Índice de Tablas

TABLA 2-1 COMPOSICIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE VIDRIO HUECO	8
TABLA 2-2 DEFECTOS DE FORMACIÓN Y MANUFACTURA	10
TABLA 2-3 DEFECTOS DE MASA O DE FUSIÓN	11
TABLA 2-4 DEFECTOS DE RECOCIDO O DE TEMPLADO	11
TABLA 3-1 RESUMEN ESTADÍSTICO	17
TABLA 3-2 INDICADORES DE CAPACIDAD DE PROCESO.....	18
TABLA 3-3 MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	21
TABLA 4-1 TONELADAS DE VIDRIO INTERNO DE RETORNO	33
TABLA 4-2 CORRELACIÓN DE INCRUSTACIONES SÓLIDAS Y GASEOSAS CON SWA CUERPO	35
TABLA 4-3 CORRELACIÓN DE INCRUSTACIONES SÓLIDAS Y GASEOSAS CON VIDRIO INTERNO DE RETORNO	36
TABLA 4-4 ESTRATIFICACIÓN DE DATOS PARA CAPACIDAD DE PROCESOS.....	37
TABLA 4-5 VARIABLES CRÍTICAS DEL PROCESO DE HORNOS Y BATCH HOUSE.....	41
TABLA 4-6 RESUMEN DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES CONDICIONES OPERACIONALES	42
TABLA 4-7 CORRELACIÓN CULLET Y ARENAS CON INCRUSTACIONES SÓLIDAS	43
TABLA 4-8 CORRELACIÓN CULLET Y ARENAS CON INCRUSTACIONES GASEOSAS	43
TABLA 4-9 RESULTADOS ANÁLISIS FUERZA DE CAUSA Y FUERZA DE EFECTO	51
TABLA 4-10CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS CLAVES Y CAUSAS – EFECTOS PRINCIPALES	51
TABLA 4-11 PONDERACIÓN DE CRITERIOS	52
TABLA 4-12 PRIORIZACIÓN DE CRITERIOS.....	53
TABLA 4-13 PRIORIZACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA.....	53

TABLA 4-14 PLAN DE ACCIONES.....54

TABLA 4-15 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COSTOS.....57

TABLA 4-16 INDICADORES DE CONTROL 60

TABLA 4-17 PROPUESTA DE CONTROL 61

Índice de Diagramas

DIAGRAMA 2-1 DIAGRAMA DE FLUJO DE MATERIAS PRIMAS 7

DIAGRAMA 2-2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO 9

DIAGRAMA 3-1 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DMAIC 12

DIAGRAMA 3-2 DIAGRAMA SIPOC 13

DIAGRAMA 3-3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA, METODO FLUJO DE PROCESOS 19

DIAGRAMA 3-4 DIAGRAMA DE RELACIONES 20

DIAGRAMA 3-5 DIAGRAMA RESUMEN APLICACIÓN DMAIC 25

DIAGRAMA 4-1 DIAGRAMA SIPOC ÁREA DE HORNOS Y BATCH HOUSE 27

DIAGRAMA 4-2 DIAGRAMA DE ARBOL CTQ.....32

DIAGRAMA 4-3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA DEL PROCESO DE CULLET 48

DIAGRAMA 4-4 DIAGRAMA DE RELACIONES CAUSA - EFECTO 50

DIAGRAMA 4-5 CARTA GANTT PROPUESTA DE MEJORA.....59

Nomenclatura

Batch House: Casa de mezcla, infraestructura en donde se ubican las balanzas y las mezcladoras utilizadas para la preparación de la composición que ingresará a la fundición.

Receta: Formulación del vidrio, en esta se describen las cantidades de la composición del vidrio.

Batch: Mezcla de materias primas de acuerdo a la receta.

Silo Batch: Silo de acopio, que almacena el Batch antes de ser ingresada al horno de fundición.

Depósito: Producto terminado, toneladas de producto terminado y paletizado destinado para ventas.

Vidrio interno de retorno: Vidrio que retorna al proceso como parte de la composición.

Enfornar: Proceso de introducir la composición al horno de fundición.

Calcín: Material fundido, producto semielaborado que sale del horno de fundición.

Cullet: Vidrio roto, compuesto por vidrio reciclado y vidrio de retorno interno.

Electro boosting: Electro potenciador, ubicados cerca del piso del horno en contacto con el vidrio fundido que es un conductor eléctrico.

1. Introducción

La industria de envases de vidrio en Chile tiene una participación importante a nivel nacional, ya que es indispensable el uso de este tipo de envases en la producción de alimentos, bebidas; cosmética y farmacéutica. Los envases de vidrio destacan al ser un material 100% reciclable, altamente sostenible y con capacidad de preservar las propiedades organolépticas de los productos que contiene.

A lo largo de los años, la industria del vidrio ha adoptado innovaciones tecnológicas y procesos de producción eficientes para atender las crecientes expectativas de calidad y seguridad. Dentro de todos los procesos encadenados en la producción de vidrio, el proceso de fundición es fundamental, ya que ante alguna desviación en las variables de este proceso pueden generar defectos que afectan la calidad y seguridad del producto final.

La disminución de los defectos y reprocesamientos derivados del proceso de fundición mejoraría la productividad, reduciría los costos operacionales por reprocesamiento, obteniendo un producto final de mejor calidad, reflejando un aumento en la satisfacción de los clientes.

Para el desarrollo de este proyecto, se emplea la metodología DMAIC, la cual cuenta con una estructura metodológica que facilita la identificación y descripción detallada del problema, lo que permite establecer enfocar las posibles causas de los defectos y del mismo modo abordar con una mejor precisión estas causas.

Durante los primeros capítulos de este documento, se describe la problemática que aqueja a la empresa, así mismo la justificación del estudio, junto a los objetivos específicos para lograr una propuesta de mejora que permita disminuir los defectos generados en el proceso de fundición de Hornos y Batcha House, además se describen las bases teóricas que permitirán el cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

En el desarrollo de este proyecto se aplicarán distintas herramientas de calidad que llevarán a la comprensión del proceso y a la inferencia que tienen las variables independientes del proceso de fundición en la problemática, continuando con la identificación y clasificación de las posibles causas.

Al finalizar este estudio se habrá identificado una propuesta de mejora para la disminución de los defectos generados en el proceso de Hornos y Batch House, que permita producir un materia fundido de mejor calidad.

1.1 Problemática

En la industria de fabricación de envases de vidrio es cotidiano la pérdida de material fundido a causa de mantenciones o cambios de color, ya que por el alto costo que implica detener el proceso, este es continuo. El material fundido no debe permanecer en el horno de fundición por un largo periodo de tiempo, debido a que podría alterar las propiedades físicas y químicas del vidrio, por ende, los riesgos de obtener un vidrio con defectos aumentan.

Para facilitar la comprensión del proceso de fabricación y comercialización de envases de vidrio, en la figura 1-1 se representa visualmente las interacciones de los procesos.

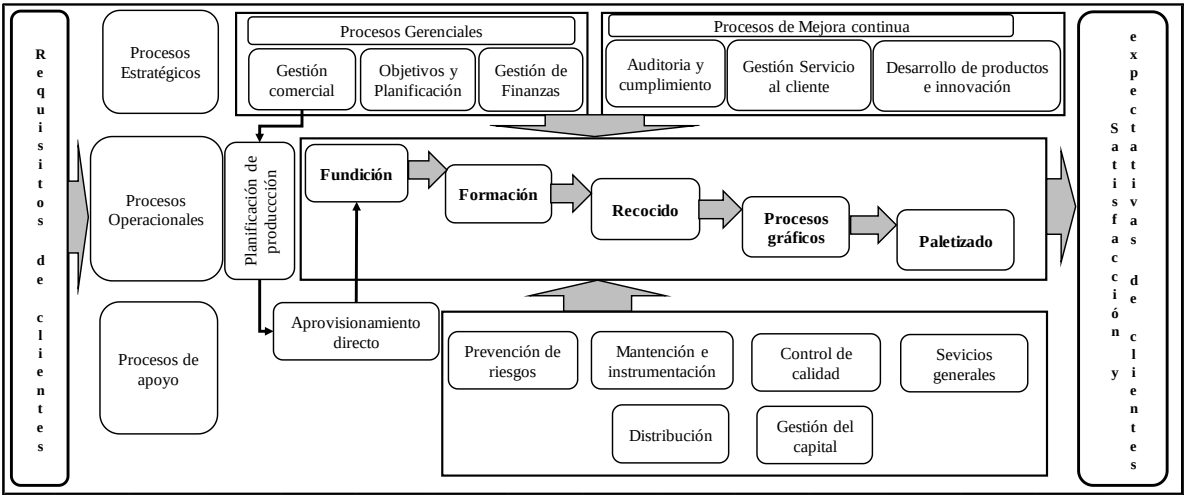


Figura 1-1 Mapa de procesos empresa de fabricación y comercialización de envases de vidrio
Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Debido a la continuidad del proceso se genera vidrio de retorno interno, que puede provenir de la etapa de fundición, formación y posterior al recocido, en donde se realiza la inspección de calidad al 100% de las unidades producidas. El producto terminado es contabilizado en la etapa de paletizado, por lo cual, para efectos de este estudio, los productos no conformes identificados posterior al paletizado, no se considera como vidrio de retorno interno.

Desde el año 2021 en la planta A, se evidencia un aumento sostenido de vidrio de retorno interno, esto ha generado un impacto económico negativo, reflejado en la disminución del rendimiento productivo. En el gráfico 1.1 se muestran las toneladas de vidrio de retorno interno de los años 2021, 2022 y 2023.

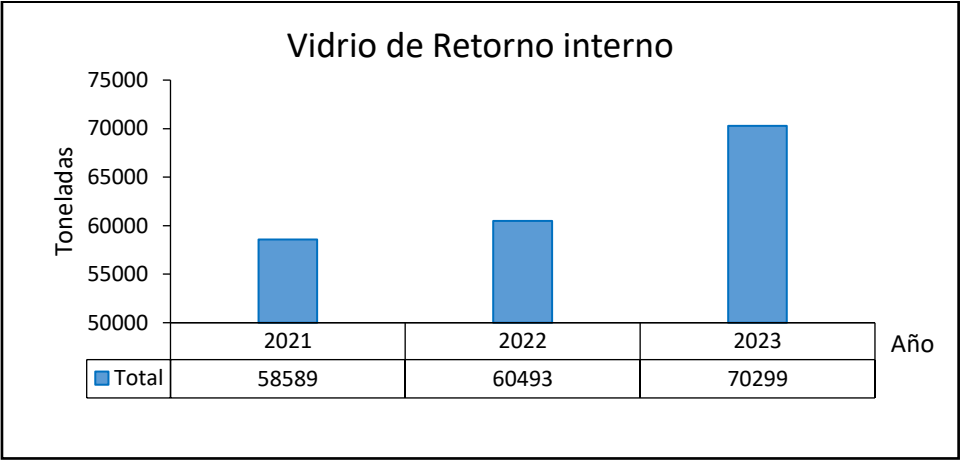


Gráfico 1-1: Gráfico vidrio interno de retorno por año en toneladas.

Elaboración propia

Entre el año 2021 y 2022 el alza de vidrio retorno interno fue de 3,25%, lo que representa un total de 1.903 toneladas, con un costo de no calidad asociado de 3.253 UF. Entre el año 2022 y 2023 este vidrio aumentó un 16,21%, lo que equivale a 9.806 toneladas, con un costo de no calidad asociado de 17.593 UF, por reprocesamiento.

Durante el primer semestre del año 2024 en comparación con el mismo periodo del año 2023, los resultados demuestran una disminución de un 0,48%, sin embargo, al comparar los mismos periodos de los años 2021 y 2022 se evidencia un aumento de 13,57% y 16,25% respectivamente, manteniendo la tendencia del año 2023.

La elevada cantidad de vidrio de retorno interno a provocando una disminución en los indicadores productivos, además del incremento del costo de reprocesamiento de este material. Es necesario analizar el proceso para identificar las causas del aumento de vidrio de retorno interno y proponer mejoras que minimicen el problema.

1.2 Alcance

El Alcance de este proyecto incluye la recolección y análisis de datos del proceso de Hornos y Batch House del Horno B, desde el 1 de enero del 2024 al 30 de junio del mismo año e identificación de oportunidades de mejora en el proceso Hornos y Batch House, ubicado en la planta A.

1.3 Limitaciones

El proyecto no considera los reprocesamientos por defectos generados en los procesos posteriores a la fundición, tales como canales, formación, recocido y procesos gráficos. Asimismo, se excluye cualquier evaluación de procesos y equipos que no estén involucradas en el proceso de fundición de Hornos y Batch House, las variables de composición del vidrio y los defectos derivados de estas, por temas de confidencialidad. Este proyecto no contempla la implementación y verificación de la propuesta de mejora. Finalmente, los balances de masa y energía se limitan únicamente a las variables críticas identificadas en el proceso que se relacione con los defectos identificados en el estudio.

1.4 Objetivo General

Proponer plan de mejora en el proceso de Hornos y Batch House, que permita disminuir el vidrio interno de retorno, relacionado a los defectos generados en el proceso.

1.5 Objetivos específicos

- 1 - Mapear el proceso de Hornos y Batch House e identificar los defectos originados en el proceso que estén contribuyendo al aumento del vidrio interno de retorno.
- 2 - Evaluar el cumplimiento de las especificaciones de los clientes, de los defectos definidos en el primer objetivo específico, identificar y analizar los datos de las variables críticas del proceso que están incidiendo en los defectos definidos.
- 3 - Realizar análisis de causa de los defectos definidos e identificar las causas principales.
- 4 - Proponer plan de acción para disminuir los defectos definidos, que se están generando en el proceso de Hornos y Batch House.

2. La industria del vidrio

El vidrio es un material que ha estado presente en la evolución del hombre hasta el día de hoy, es parte de la vida cotidiana, desde objetos decorativos, en la ciencia y tecnología, incluyendo envases para la industria alimentaria y farmacéutica.

La industrialización del vidrio en Chile inicia en el siglo XIX, con la producción de envases de vidrio soda-cálcico para la industria alimentaria, de bebidas y farmacéutica, esto debido a la necesidad de contar con envases impermeables y duraderos. La producción de estos envases se realizaba a través de fábricas pequeñas con procesos artesanales, lo que cambio durante la segunda mitad del siglo XX, cuando dio un salto en la eficiencia productiva incorporando tecnologías que permitió un avance significativo en la calidad y volumen de producción.

Actualmente en Chile la fabricación de envases de vidrio se mantiene en una evolución constante, de modernización y sostenibilidad, las principales compañías del sector industrial de envases de vidrio han logrado posicionarse a nivel regional, respondiendo a la demanda que crece constantemente.

La industria actualmente enfrenta desafíos en innovación y reciclaje, con el objetivo de mantener su crecimiento sostenible, la calidad de las materias primas en particular el vidrio reciclado, impactan directamente en la eficiencia del proceso productivo y en la calidad del producto final. A continuación, se muestra en la figura 2-1, la proporción teórica del ahorro de energía con el aumento del vidrio reciclado.

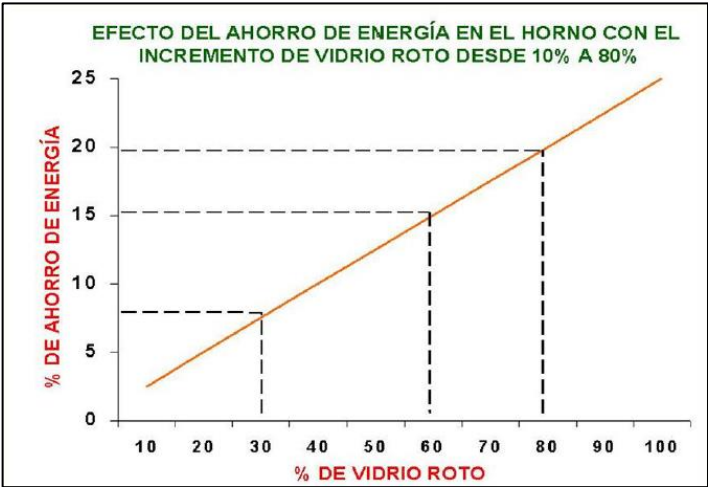


Figura 2-1 Efecto del ahorro de energía en el uso de vidrio roto, Fuente: (Plan de carrera Crece, [s.a.])

2.1 Proceso de elaboración de envases de vidrio

El proceso de elaboración de envases de vidrio inicia con la recepción y almacenamiento de las materias primas, estas se pueden clasificar en dos grupos; primarias y secundarias, dentro del primer grupo están presentes las arenas de sílice como vitrificantes (SiO_2), que son los formadores de red y constituyentes del esqueleto de la estructura del vidrio, las arenas de sílice requieren de altas temperaturas para su fundición, por lo cual, es necesario la incorporación del carbonato de sodio como fundentes (Na_2CO_3), este permite disminuir la temperatura necesaria para la formación de vidrio, sin embargo, la adición de este componente trae consigo alteraciones en las propiedades físicas y químicas del vidrio. Para contrarrestar estas alteraciones se utiliza el carbonato de calcio como estabilizante (CaCO_3). Dentro del grupo de las materias primas se incluye el Cullet o vidrio reciclado, este impacta positivamente en la eficiencia del proceso de fundición. A continuación, se muestra en el diagrama 2-1, un resumen de las materias primas para la fabricación de envases de vidrio soda-cálcico.

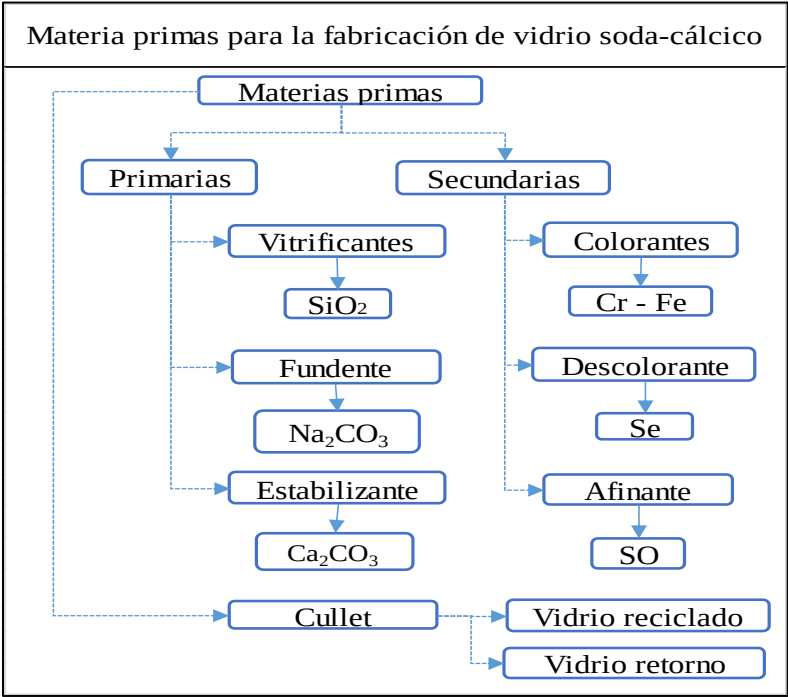


Diagrama 2-1: Diagrama de flujo de materias primas.

Elaboración propia., referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Las materias primas secundarias, son las que aportan al vidrio coloración o descoloración, así también la opalescencia (Navarro, 2003)

A continuación, se muestra la tabla 2-1, la composición teórica de las materias primas para envases de vidrio incoloro y coloreado.

Tabla 2-1 Composición de algunos tipos de vidrio hueco

Vidrio	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Otros
Envases incoloros	71,0-73,0		1,5-2,5	1,5-3,0	8,5-10,5	13,0-14,0	0,1-1,0	< 0,03	0,15-0,25	0,02 Se
Envases ámbar	71,0-73,0		1,5-2,0	1,5-3,0	8,5-10,5	13,0-14,0	0,1-1,0	0,15-0,40	0,2-0,3	
Envases verdes	71,0-73,0		1,5-2,5	1,5-3,0	8,5-10,5	13,0-14,0	0,1-1,0	0,2-0,5	0,15-0,25	0,2-0,3 Cr ₂ O ₃

Fuente: (Navarro, 2003)

Las materias primas son almacenadas en silos de gran capacidad, alimentados por un sistema automático que cuenta con elevadores, cintas de transporte, tubos de sin fin, tubos vibradores, diversificadoras y balanzas con capacidad de 1 kilogramo hasta 3500 kilogramos, en donde las materias primas son pesadas según formulación y dosificadas en un sistema de mezclado.

Una vez listo el mezclado de las materias primas, ahora llamado Batch, es transportado al sistema de alimentación del horno, el cual cuenta con silos de almacenamiento de Batch, los que descargan por gravedad a un tubo sin fin que alimenta un cargador automático, introduciendo el Batch al horno de fundición.

En la producción de envases de vidrio, se utilizan hornos de cuba, también llamados continuos, ya que en esta industria se mantienen encendidos con un flujo constante de material fundido, por más de 8 años en promedio. (Navarro, 2003)

Luego que el Batch se ha fundido en el horno, se puede observar una masa vítrea, la cual fluye por un canal cerrado llamado garanta hasta el refinador, este último cumple la función de descender la temperatura al material fundido para ser moldeado en las máquinas de formación.

El material fundido cae con ayuda de una aguja a los moldes en forma de gota, para darle forma al envase, existen distintos métodos de formación siendo los más utilizadas el prensado-soplado y el soplado-soplado.

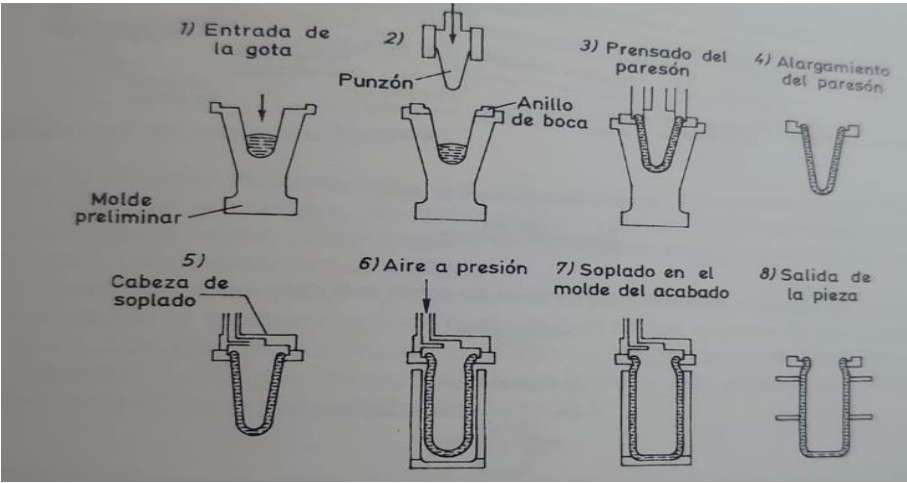


Figura 2-2 Formación de envases de vidrio

Fuente: (Navarro, 2003)

Una vez conformado los envases es necesario realizar un tratamiento térmico a estos, llamado recocido, el cual va descendiendo la temperatura de los envases gradualmente, aliviando las tensiones internas y mejorando la resistencia mecánica.

A continuación, los envases son sometidos a una inspección para la detección de defectos, esta inspección es realizada por sistemas automáticos o visualmente utilizando una pantalla de inspección. El proceso termina con el paletizado, en donde se empaquetan protegiendo los envases de vidrio para su transporte.

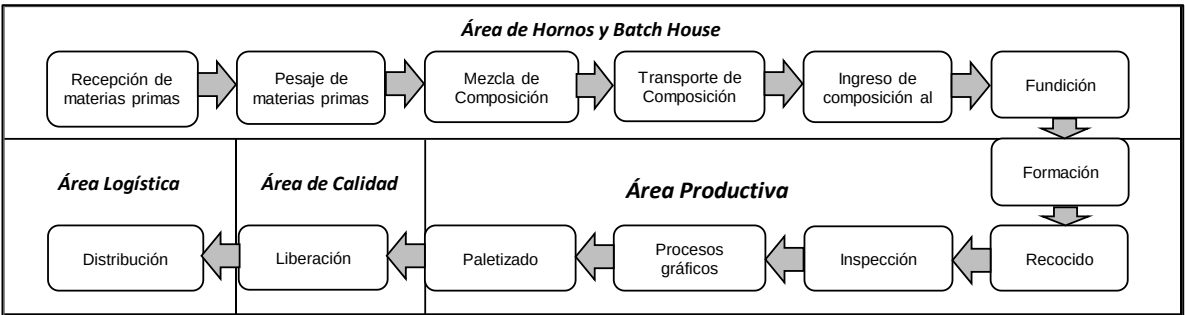


Diagrama 2-2: Diagrama de flujo de la elaboración de envases de vidrio.

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

2.2 Proceso de fundición

El proceso de fundición inicia cuando la materia prima ya como Batch, es decir, la mezcla de materias primas formuladas según receta, ingresa al horno por medio de un sistema de alimentación automático, el cual distribuye el material al momento de ingresar al horno. Los hornos de fundición cuentan con una cámara regeneradora la cual aporta aire caliente a la combustión. En el horno es donde se realiza la transformación de estas materias primas en vidrio fundido. Para esto es necesario calentar el Batch, a través de la combustión de hidrocarburos y oxígeno por medio de inyectores de combustión. Para mejorar la eficiencia térmica del proceso, se utiliza energía eléctrica por medio de electrodos que se instalan sumergidos en el vidrio fundido, esto también reduce las emisiones de gases contaminantes y mejora la calidad del vidrio.

El proceso de fundición es progresivo en el horno, comenzando en la zona de precalentamiento, lugar de la descarga del Batch, en donde las temperaturas llegan aproximadamente a 800°C, en esta área del horno se elimina la humedad y otros volátiles presentes. A continuación, el material avanza dentro del horno hasta la zona de fusión, zona en la cual ocurre la reacción química de fusión, en esta área las temperaturas oscilan entre 1400°C y 1600°C, finalmente la masa fundida llega al área de refinado donde se asegura la homogeneidad y viscosidad del fundido, pasando por la garganta del horno que regula el paso del vidrio fundido a los canales, estos son los encargados de enfriar el vidrio para ser moldeado. (Navarro, 2003)

2.3 Defectos de vidrio

Los defectos del vidrio se clasifican en tres grupos:

- Defectos de masa o de fusión
- Defectos de recocido o de templado
- Defectos de conformación y manufactura

Tabla 2-2 Defectos de formación y manufactura

Defectos de vidrio hueco y prensado	Defectos de forma	Abombado, contraído, ovalado, boca deformada, fondo deformado, flecha, conicidad.
	Defectos de distribución	Arruga, rebaba, costura, distribución irregular, ondulación interna, distorsión, descentrado, marca de tijera, distorsión óptica, aplastamiento, columpio.
	Defectos de aspecto de la superficie	Marca de molde, marca de herramienta, incrustación, rizado, costura, arrugas horizontales piel de naranja, manchas.
	Fisuras superficiales	Grieta, petadura, cuarteado, desconchado, pegadura, arrancado, rozadura, desfondado, golpe

Fuente: (Navarro, 2003)

Tabla 2-3 Defectos de masa o de fusión

Inclusiones sólidas	Infundido Desvitrificación Inclusión de sulfato Piedra de refractario Piedra negra Piedra metálica
Inclusiones vítreas	Nódulo Lágrima Cuerda Estría Hilo Onda Goma
Inclusiones gaseosas	Burbuja Punto brillante Punto fino Picado Picado cerrado o espuma
Coloración	Mal color Color Ala de mosca Ahumado

Fuente: (Navarro, 2003)

Tabla 2-4 Defectos de recocido o de templado

Tensionado Chapa Barco Marca de pinza
--

Fuente: (Navarro, 2003)

3. Marco teórico

3.1 Metodología DMAIC

La metodología base para el desarrollo de este estudio es el ciclo DMAMC, acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, las cuales son las etapas utilizadas en los proyectos Seis Sigma, este ciclo es también conocido como DMAIC por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve y Control). Fue diseñada en el año 1980 por el ingeniero Bill Smith en Motorola.

Actualmente esta metodología es utilizada por organizaciones de distintas industrias, tanto manufactureras como de servicios, es un proceso sistémico y estructurado que consta de 5 etapas, que permite identificar problemas y sus causas, implementar soluciones y controles, estos últimos permiten evaluar el cumplimiento de las acciones implementadas, cerrando el ciclo y dando paso a un nuevo inicio bajo una estructura de mejora continua (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009) .

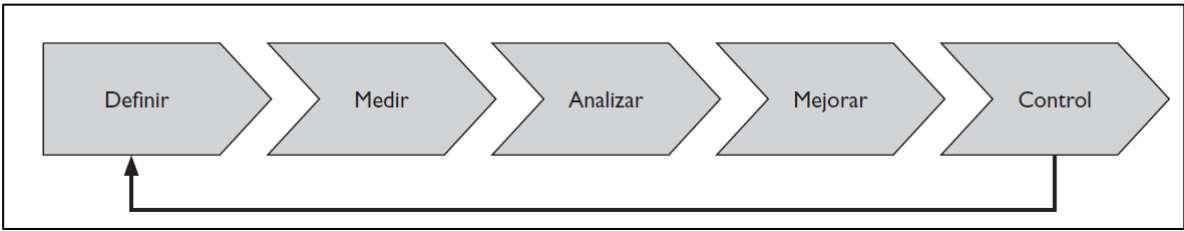


Diagrama 3-1: Diagrama de la metodología DMAIC

Fuente: (Camisón , y otros, 2006)

A continuación, se describen las etapas de la metodología utilizada para el desarrollo de este estudio y las herramientas que se aplicarán para lograr el objetivo de cada etapa.

3.1.1 Definir

En esta etapa según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar es donde “se delimita y se sientan las bases del proyecto” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 426) . Para efectos de este proyecto en esta etapa se delimitará y estratificará la problemática.

La aplicación de las siguientes herramientas definirá las métricas que serán el punto de partida para la siguiente etapa de medición.

3.1.1.1 Diagrama SIPOC

SIPOC acrónico de suppliers, inputs, process, outputs y customers, en sus siglas en inglés, es parte de los diagramas de procesos utilizados en la mejora de procesos y según Humberto Gutiérrez Pulido este “tiene el objetivo de analizar el proceso y su entorno” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 166). La aplicación de esta herramienta en este caso será el análisis del entorno, para la identificación de las entradas y salidas, esta identificación será la base del alineamiento entre el cumplimiento de los requisitos de calidad de los clientes y las salidas del proceso.

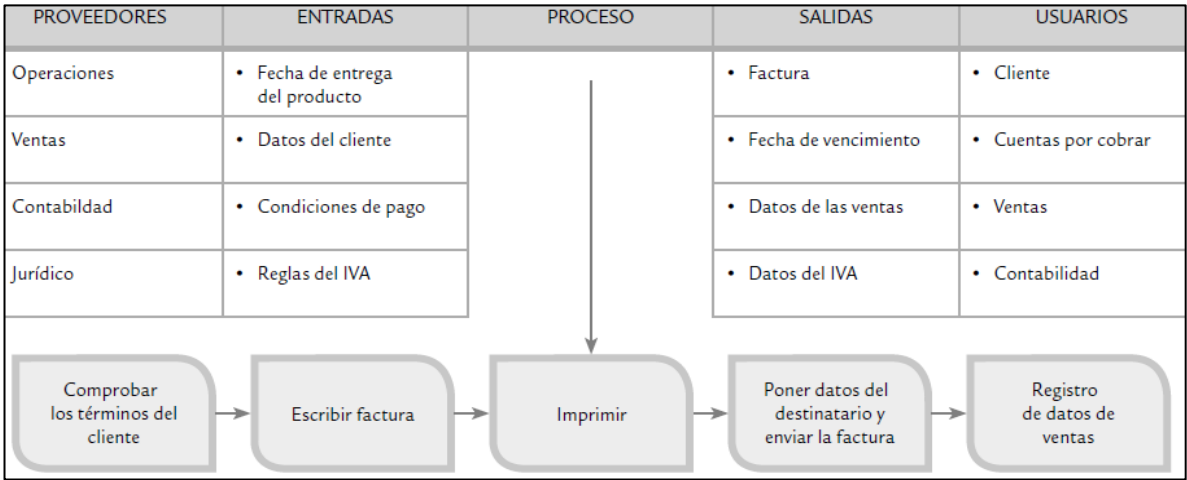


Diagrama 3-2: Diagrama SIPOC

Fuente: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

3.1.1.2 Diagrama de árbol CTQ

CTQ acrónico de Critical to Quality de sus siglas en inglés, son los requerimientos críticos de calidad de un producto o servicio, según Global Trust Association (2023) son "indicadores de calidad que permiten medir y determinar la calidad de un producto o servicio de una forma cuantitativa y cualitativa". La aplicación de esta herramienta permitirá estructurar las variables de entradas o requisitos, con los requerimientos de los clientes, identificadas en el diagrama SIPOC (Association, 2023).

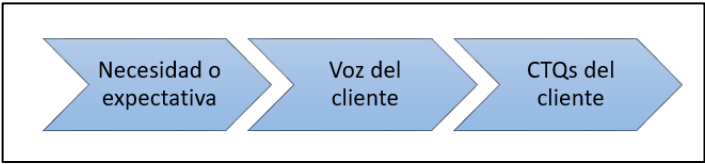


Figura 3-1 Flujo CTQ

Elaboración propia, Referencia: (Association, 2023)

3.1.1.4 Estratificación

Según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar la estratificación “Consiste en analizar problemas, fallas, quejas o datos, clasificándolos de acuerdo con los factores que pueden influir en la magnitud de los mismos” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 144). La aplicación de esta herramienta en este estudio permitirá reducir el alcance, limitándolo a un horno de fundición, facilitando el análisis de las variables del proceso e identificando con mayor precisión la causa raíz.

3.1.1.5 Gráfico de Pareto

Es una representación gráfica de priorización basada en el principio de Pareto, también llamada regla 80/20, la cual categoriza los diferentes problemas o causas. Según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar “Se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 140). Esta herramienta permitirá reconocer el incumplimiento de los requerimientos críticos que están generando el problema en el proceso de fabricación de envases de vidrio.

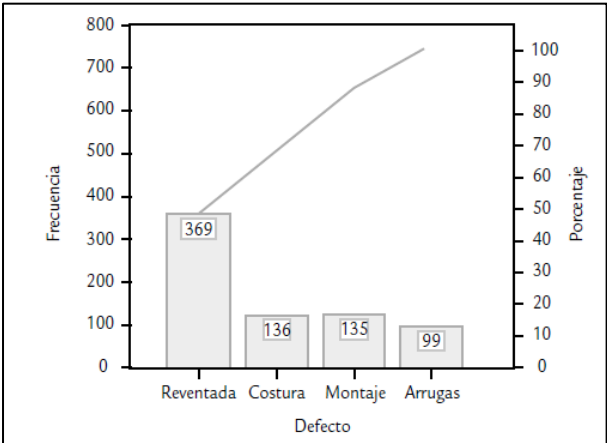


Figura 3-2 Gráfico de Pareto

Fuente: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

3.1.1.5 Diagrama de dispersión y correlación

Esta es una herramienta que permite analizar la relación existente entre dos variables numéricas. Según la descripción dada por Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar “Es una gráfica del tipo X-Y, donde cada elemento de la muestra es representado mediante un par de valores (xi, yi) y el punto correspondiente en el plano cartesiano X-Y” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 160). Este análisis permitirá en este estudio medir la relación existente entre el problema identificado, con los defectos generados en el

proceso de Hornos y Batch House, en la población de datos recolectados dentro del alcance, así mismo para comprobar la magnitud de esta relación se incluirá el cálculo del coeficiente de correlación.

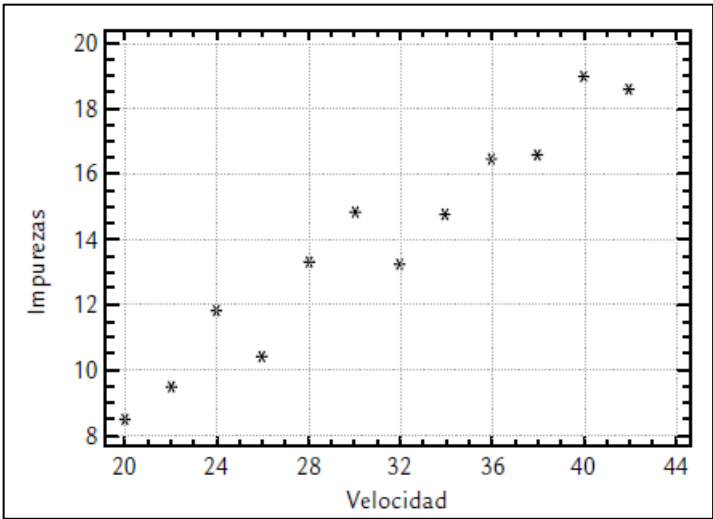


Figura 3-3 Gráfico de dispersión

Fuente: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

3.1.2 Medir

En esta etapa es donde se realiza la recolección y análisis de datos, lo que permite determinar el estado actual de un proceso o el cumplimiento de los requisitos de los clientes, así mismo entrega la línea base, que se utilizara para comparar los resultados posteriores a la implementación de un plan de mejora. La descripción dada por Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar dice que “El proceso se define a un nivel más detallado para entender el flujo del trabajo, los puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 428)

La aplicación de las siguientes herramientas permitirá medir la capacidad del proceso y analizar las variables independientes del proceso con los defectos, lo que simplificará el análisis de causa en la siguiente etapa, enfocando los recursos del estudio en las variables de interés.

3.1.2.1 Estadística descriptiva e inferencial

Como lo describen Robert Johnson y Patricia Kuby la estadística descriptiva “Es la recolección, presentación y descripción de datos muestrales” (Johnson , y otros, 2016 pág. 1) y estadística inferencial “Se refiere a la técnica de interpretar los valores que resultan a partir de las técnicas descriptivas, tomar decisiones y extraer conclusiones acerca de la población” (Johnson , y otros, 2016 pág. 1). A continuación, en la tabla 3-1 se nombran los principales componentes de cada una:

Tabla 3-1 Resumen estadístico

Estadística Descriptiva	Estadística inferencial
Medidas de tendencia central	Intervalos de confianza
Medidas de dispersión	Pruebas de hipótesis
Representaciones gráficas	Modelos de regresión y correlación

Elaboración Propia

Fuente: (Johnson , y otros, 2016)

El objetivo de aplicar estas técnicas es conocer la capacidad del proceso, para lo cual es necesario medir la variación de este, con respecto a las especificaciones de los clientes.

3.1.2.2 Índices de capacidad

Capacidad del proceso lo describieron Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, en que “Consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones)” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 100) , esto a través de métricas que comparan la variación con los límites de

especificación, representadas con indicadores llamados índices de capacidad. A continuación, en la tabla se muestran las métricas más comunes:

Tabla 3-2 Indicadores de capacidad de procesos

Proceso doble especificación	Proceso una especificación
C_p Capacidad potencial del proceso $C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$	C_{pl} Capacidad respecto al límite inferior de especificación $C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$
C_{pk} Capacidad real de un proceso $C_{pk} = \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$	C_{ps} Capacidad respecto al límite superior de especificación $C_{ps} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$
C_{pm} Índice de Taguchi $C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$	-

Elaboración Propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

3.1.3 Analizar

La tercera etapa de esta metodología según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara tiene como meta “identificar la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las X vitales), entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 428). Para efecto de este estudio, el objetivo es establecer las relaciones causa – efecto y priorizar las causas relevantes, que serán abordadas en la propuesta de plan de acción, aplicando las siguientes herramientas.

3.1.3.1 Análisis de causa Ishikawa

Es una representación gráfica que permite visualizar de forma ordenada las ideas propuestas para la causa a un problema, según lo describe Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara “Es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 152), permite disminuir la subjetividad de la causa de un problema, mostrando distintas perspectivas para abordar este. Existen tres métodos para organizar las ideas, dependiendo de las causas, estos son:

- Método de las 6M: Se agrupan las causas potenciales de acuerdo con las 6 M (métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente
- Método tipo flujo del proceso: La línea principal sigue el flujo del proceso y en ese orden se agregan las causas.
- Método de estratificación: Se consideran directamente las causas potenciales, agrupándolas por similitud. (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

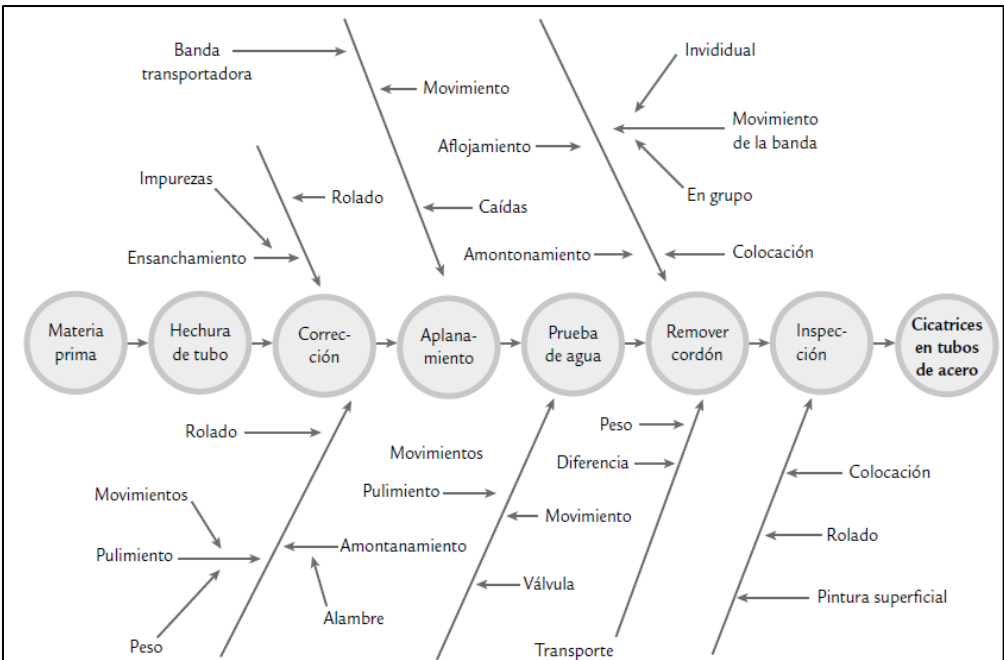


Diagrama 3-3: Diagrama de Ishikawa, método flujo de procesos

Fuente: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

3.1.3.2 Diagrama de Relaciones

Es una de las 7 nuevas herramientas de calidad, las cuales tienen como objetivo lograr la resolución de los problemas más relevantes. Según César Camisón, Sonia Cruz y Tomás González “Es una herramienta que muestra las relaciones complejas de causa y efecto” (Camisón , y otros, 2006 pág. 1264). Permite identificar las causas principales, efectos principales y elementos claves, complementándose con otras herramientas de calidad. En

este estudio se aplicará como complemento del diagrama de Ishikawa para profundizar en las causas y priorizar estas por medio de las fuerzas de causa y efecto con respecto al problema estratificado al alcance del estudio.

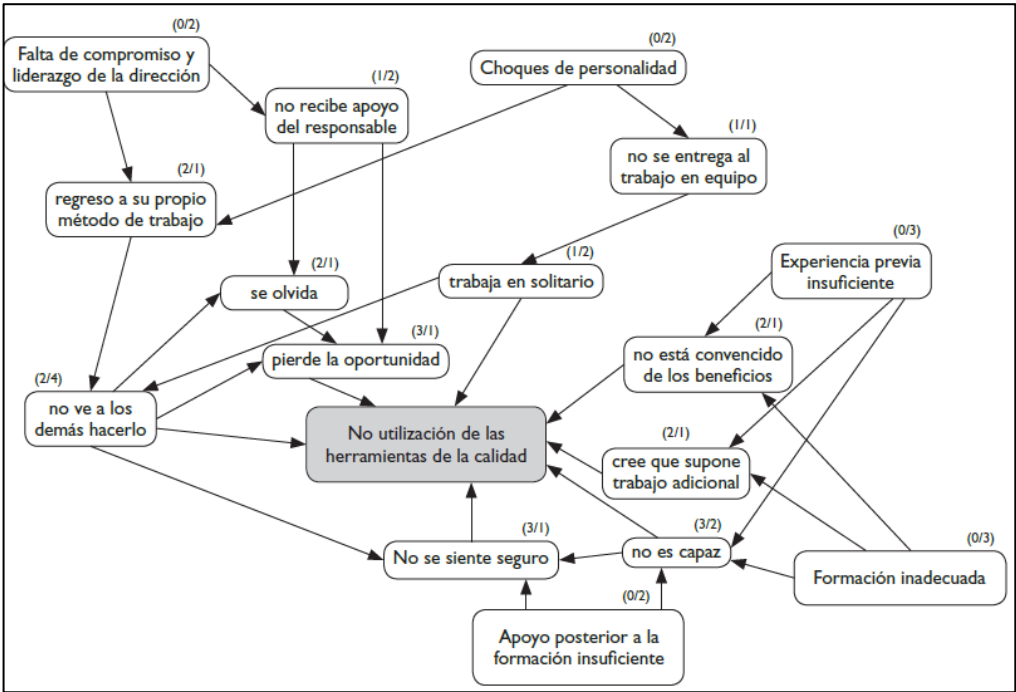


Diagrama 3-4: Diagrama de relaciones

Referencia: (Camisión , y otros, 2006)

3.1.4 Mejora

En esta etapa según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara “es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 429). Esta etapa se aplicará en este estudio, con el objetivo de proponer un plan de mejora en el proceso de hornos y batch house, que permita disminuir los defectos generados en el proceso. Se utilizarán las siguientes herramientas, las cuales permitirán identificar las opciones más viables a corto plazo.

3.1.4.1 Lluvia de ideas

Según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara “Es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre un tema” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 159). Esta es una herramienta utilizada como paso previo a un diagrama de Ishikawa en un análisis de causa, sin embargo, puede ser aplicada para la recolección de ideas en distintas etapas de la metodología. Para efectos de este estudio se utilizará para reunir las opciones de propuesta de mejora, las cuales se analizarán por medio de una matriz de priorización, que permita identificar la propuesta de mejora más viable, de acuerdo a las condiciones actuales del proceso.

3.1.4.2 Matriz de priorización

Esta es una herramienta que según César Camisón, Sonia Cruz y Tomás González “sirven para priorizar actividades, temas, características de productos o servicios, etc. a partir de criterios de ponderación conocidos” (Camisón , y otros, 2006 pág. 1270). Es una herramienta que ayuda en la toma de decisiones cuando los recursos son escasos, cuando hay relaciones en las opciones o cuando no se tienen acuerdos sobre la importancia de estas. La aplicación de esta herramienta permitirá priorizar y enfocar las acciones del plan mejora en la propuesta más viable, de acuerdo a las condiciones actuales del proceso.

Los métodos utilizados para priorización son:

- Método del criterio analítico completo: Consiste en la definición de objetivos, crear el listado de criterios, determinar la importancia de cada uno de estos comparándolos con los otros criterios y realizar una comparación a partir de cada combinación.
- Método del consenso de criterios: Consiste en definir prioridades para cada criterio, ordenar las opciones a partir de cada criterio y finalmente calcular la importancia para cada opción. (Camisón , y otros, 2006)

Tabla 3-3 Matriz de priorización

	Mejora en la satisfacción del cliente	Menor coste de implantación	Rapidez en la implantación	Totales de fila (% Total)
Localización solar				
Nivelado solar				
Estructura				
Calidad materiales				
Calidad equipamiento				
% Total Global				

Fuente: (Camisón , y otros, 2006)

3.1.4.3 Ciclo de PDCA

El creador de este concepto fue W.A. Shewhart, publicado en 1939, pero fue Deming quien lo presento en los años 50 en Japón. Según César Camisón, Sonia Cruz y Tomás González “es un proceso que, junto con el método clásico de resolución de problemas, permite la consecución de la mejora de la calidad en cualquier proceso de la organización” (Camisón , y otros, 2006 pág. 875). PDCA es el acrónimo de Plan, Do, Check y Act de sus siglas en inglés, lo que en español sería Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA). Para efectos de este estudio se utilizará esta herramienta como metodología en la propuesta de implementación de los planes de acción definidos y priorizados anteriormente.

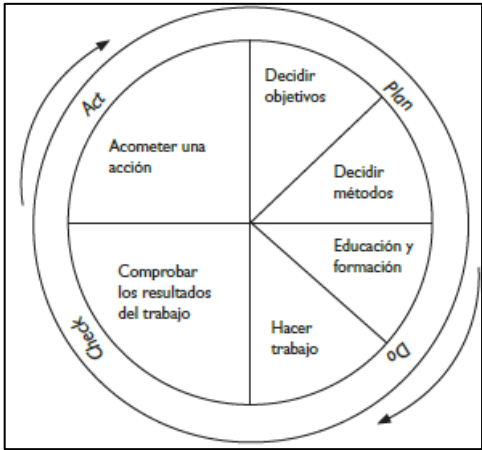


Figura 3-4 Ciclo PDCA de Ishikawa

Fuente: (Camisón , y otros, 2006)

3.1.4.4 Análisis de costo beneficio

Esta es una herramienta de análisis de viabilidad financiera de un proyecto, comparando los costos de un proyecto, con los beneficios económicos esperados, siendo una base en la toma de decisiones. Esta permite evaluar proyectos, analizar las opciones de inversión, tomar decisiones estratégicas y priorizar proyectos. Previo a lo anterior es necesario realizar el flujo de caja del proyecto. En este estudio se aplicará esta herramienta para evaluar el costo beneficio de la propuesta de implementación del plan de mejora, seleccionado en la etapa anterior, estimando los costos asociados a esta implementación, dando paso a la siguiente etapa, en la cual se propondrá un plan de implementación y control (Jácome Lara, y otros, 2017)

Los indicadores utilizados son:

VAN: Valor actual neto, calcula la diferencia entre el valor actual de los ingresos futuros y el costo de la inversión

TIR: Tasa interna de retorno, es la tasa de descuento que hace que le VAN sea igual a cero.

Payback: Determina el plazo que demora una organización en recuperar la inversión de un proyecto o inversión.

3.1.4.5 Carta Gantt

Esta es una herramienta gráfica que permite planificar, organizar y controlar un proyecto, a través de la representación de las tareas gráficamente, facilitando la visualización del avance del proyecto. En este estudio se aplicará esta herramienta en la propuesta de implementación, lo que permitirá estimar el tiempo de ejecución de la propuesta de mejora (Gantt, 1919)

Implementación			Mes1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Etapa 0	Presentación del proyecto y toma de	Proponer equipo de implementacion y costos asociados a esta																								
	Toma de decisión																									
Etapa 1 Preparación	Diagnóstico inicial	Determinar el alcance del SGC																								
	Preparación	Definir los recursos necesarios para el funcionamiento del sistema																								
	Diseño	Control de los procesos, productos y servicios suministrado																								
	Planificación	Definir un plan para documentar los procesos																								
Etapa 2 Implementar		Definir los indicadores del SGC																								
		Realización de las políticas																								
	Difusión	Capacitaciones en las normas ISO 9001 y la ISO19011																								
Etapa 3 Análisis crítico	Capacitación	Asignación de responsabilidades para la implementación del sistema de gestión																								
	Implementación	Definir y estandarizar los procesos y servicios de la empresa																								
Etapa 4		Definir la capacidad de prestación del servicio																								
	Auditorías internas	Plan de auditorías internas																								
Etapa 3 Análisis crítico	Mejora continua	Análisis de datos																								
		Revisión por la dirección																								
Etapa 4		Implementación de acciones correctivas, preventivas, oportunidades de mejora y seguimientos de acciones																								
	Certificación	Envío de documentación																								
Etapa 4		Auditoría externa																								
		Levantamientos de no conformidades																								

Figura 3-5 Carta Gantt

Elaboración propia, referencia: (Gantt, 1919)

3.1.5 Controlar

Esta fase según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara “se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X vitales) y se cierra el proyecto”, “acordando acciones de control en tres niveles: procesos, documentación y monitoreo” (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 430), con el objetivo de mantener las mejoras en los procesos identificados durante el estudio, a continuación se describen algunas herramientas de control:

- Procedimientos de operación: Como se describe en la normativa ISO 9000:2015 “Es una forma de estandarizar las actividades de un proceso” (Standardization, 2015).
- Indicadores de desempeño: Son herramientas de medición que permiten evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos u operacionales en una empresa.
- Checklists o listas de verificación: Es una herramienta que cuenta con el listado de elementos, los cuales se evalúan su cumplimiento. (Standardization., 2018)
- Auditorías de procesos: Como se describe en la normativa ISO 9000:2015 es un “Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias

objetivas y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los criterios de auditoría. (Standardization, 2015)

-Gráficos o cartas de control: Según Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara “Es una gráfica que sirve para observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009 pág. 186)

A continuación, se describe la ruta de la metodología antes mencionada para el desarrollo del proyecto.

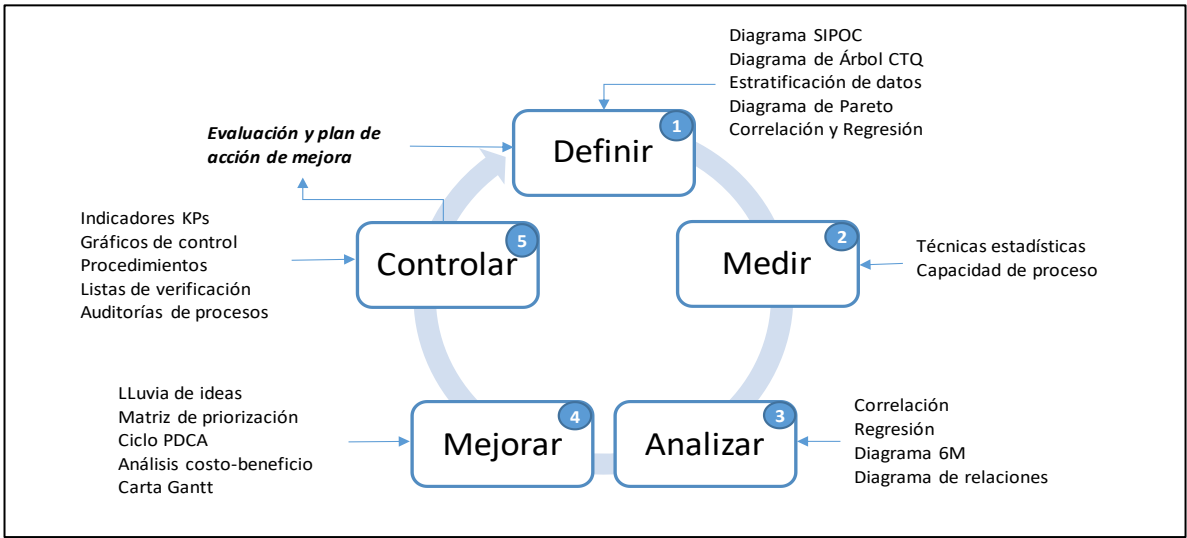


Diagrama 3-5: Diagrama resumen aplicación DMAIC.

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

4. Aplicación de DMAIC

4.1 Definir

Con el objetivo de definir y estratificar el problema identificado, en base a la primera etapa de la metodología DMAIC, en este capítulo se realiza el levantamiento del proceso de Hornos y Batch House que permita identificar las entradas y salidas, además, de los requerimientos críticos de calidad solicitadas por los clientes. Estos últimos entregaran las métricas para el análisis cuantitativo, entrada de la segunda etapa de la metodología DMAIC.

- Diagrama SIPOC

Para identificar a los participantes del proceso que son: proveedores (Supplier), entradas (Input), salidas (Output) y clientes (Customer), junto a los elementos claves que intervienen en el proceso (Process) de Hornos y Batch House en la fabricación de envases de vidrio e identificar los requerimientos críticos de los clientes, se realizó un diagrama SIPOC, que permitió la identificación de las entradas y salidas del proceso de Hornos y Batch House. Para efectos de este estudio se acotará al output relacionados a los requerimientos del cliente interno.

En primera instancia se procede a realizar el análisis del entorno al proceso de Hornos y Batch House, para realizar el listado de los participantes, con esta información en segunda instancia se procede a organizar el diagrama SIPOC como se muestra en el diagrama 4-1.

Proveedores (Supplier):

- Proveedores de Carbonatos
- Proveedores de Arenas
- Proveedores de energía
- Proveedores de insumos
- Proveedores logísticos
- Proveedores de servicios

Entradas (Input)

- Materias primas
- Condiciones operacionales
- Estructura refractaria

- Equipos
- Energía
- Mano de obra

Proceso (Process):

- Hornos y Batch house

Salidas (Output)

- Envases de vidrio
- Indicadores productivos
- Retorno interno de vidrio
- Emisiones
- Indicadores de calidad

Clientes (Customer):

- Internos: Área de formación y comercial
- Externos: Empresas de alimentos, de bebidas y distribuidores minoristas.

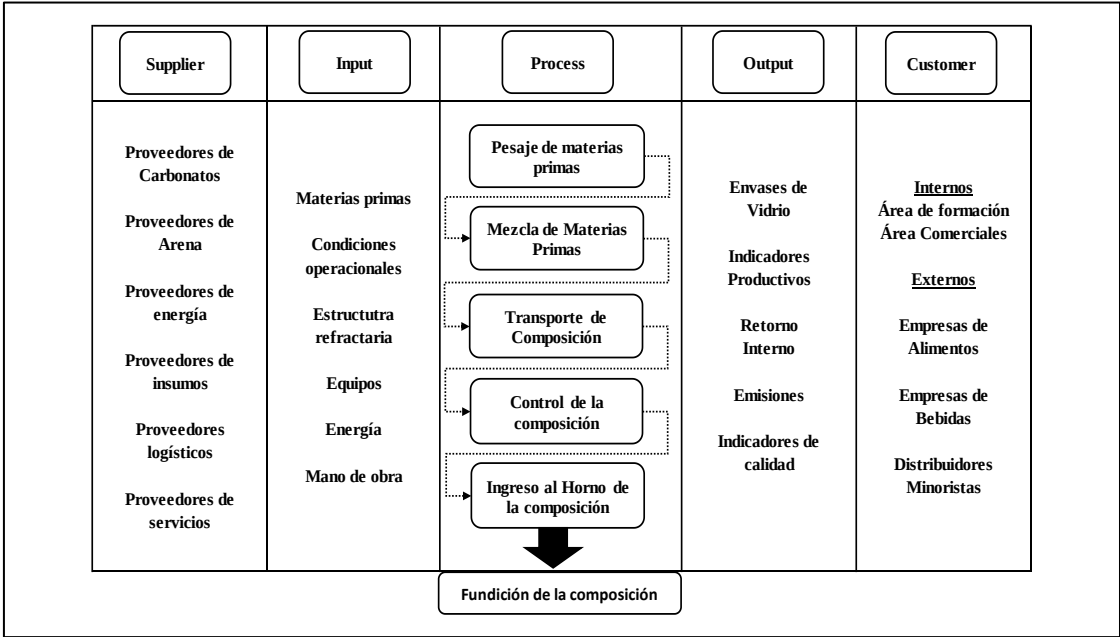


Diagrama 4-1: Diagrama SIPOC Área de hornos y Batch House.

Elaboración propia. referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Una vez que se organizan los participantes del entorno del proceso en el diagrama SIPOC, es posible identificar las interacciones de estos. Con el objetivo de no sobrecargar el diagrama SIPOC, se detallan a continuación los elementos de input y output, los cuales responden a los requerimientos del proceso en el caso del input, en el caso del output responden a los requerimientos de los clientes.

- **Input**

- Materias primas: Arenas de sílice, Carbonato de calcio, carbonato de sodio y cullet.
 - Medibles: Composición, porcentaje en composición, humedad, granulometría,
- Condiciones operacionales: Estandares de operación
 - Medibles: Temperatura superior, temperatura de piso, temperatura de puente, temperatura de garganta, nivel de vidrio, tiempo de permanencia, presión interna.
- Energía: Eléctrica y de combustibles fósiles.
 - Medibles: Energía eléctrica, flujo de gas natural.
- Estructura refractaria: Estado de la estructura, sistema de refrigeración.
 - Medibles: Temperaturas refractarios, temperaturas de agua y aire
- Equipos: Inyectores, Electroboosting, cargadores de materias primas, ventiladores, bombas, Hidramix.
 - Medibles: Oscilación de los cargadores, desgaste de los electroboosting, frecuencia de falla, frecuencia de mantención.
- Mano de obra: Operador de Hornos y batch house, especialista de hornos, jefe de turno.
 - Medibles: Capacitaciones.

- **Output**

- Envases de vidrio: Se fabrican de acuerdo a especificaciones de peso, molde y color.
 - Medible: Unidades producidas.
- Indicadores productivos: Rendimiento de acuerdo a la capacidad del horno y toneladas de depósito.
 - Medible: Material fundido y material depositado.
- Retorno interno: Vidrio fundido o envase de vidrio semi elaborado que es reprocesado e ingresan nuevamente al proceso como materia prima.
 - Medible: Material fundido no depositado.
- Emisiones: Productos de la combustión de las materias primas.
 - Medibles: Gases de combustión y material particulado.
- Indicadores de calidad: Cumplimiento de las características requeridas, al no cumplirse genera rechazo del producto, retorno interno.
 - Medibles: Defectos generados en el proceso de Hornos y Batch House.

De los elementos identificados como output, son los indicadores de calidad los que al no cumplirse generan el rechazo de los envases de vidrio. Estos indicadores se encuentran alineados con los requerimientos del cliente interno. Para continuar con el proceso de definir el problema, se procede a identificar las métricas de los requerimientos de los clientes internos, para evaluar la capacidad del proceso de cumplir con estos requerimientos.

- **Diagrama de árbol CTQ**

Como se mencionó anteriormente, los indicadores de calidad identificados en el diagrama de SIPOC, son requerimientos de calidad que debe cumplir el material fundido elaborado en el proceso de Hornos y Batch House para dar continuidad al proceso productivo, el cumplimiento de estos requerimientos se realiza posterior al proceso de recocido y

enfriado, específicamente en la sección de inspección de la línea. Los indicadores de calidad informan el grado de conformidad de los envases de vidrio con los requerimientos del cliente, interno en este caso, también llamados CTQs, para visualizar las necesidad y requerimientos del cliente interno, se procede a realizar el diagrama de árbol correspondiente, con el objetivo de identificar las métricas que permitan evaluar el grado de cumplimiento de estos requerimientos.

Como primer paso para realizar el diagrama de árbol de los CTQ, se identificaron las necesidades que el cliente interno requiere que se satisfagan en el material fundido.

En la figura 4-1 se detallan las necesidades identificadas.

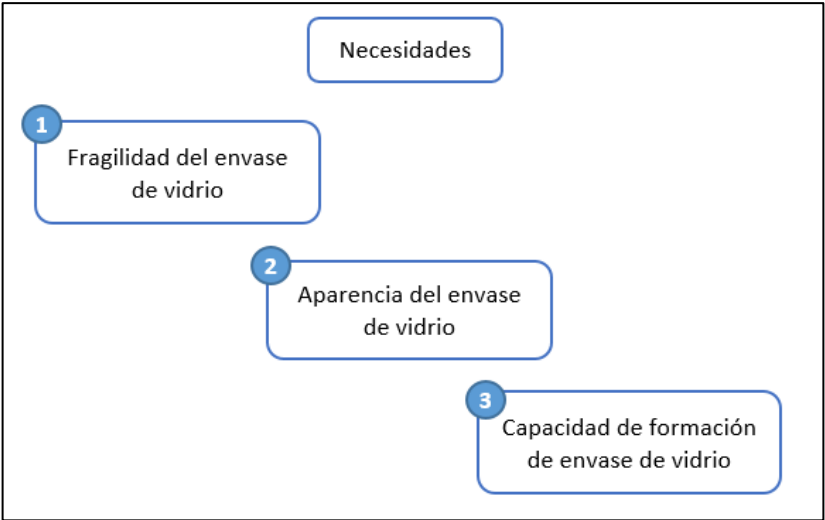


Figura 4-1Necesidades del cliente.

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Las necesidades identificadas que el proceso de hornos y batch house debe satisfacer es producir un vidrio con baja fragilidad, apariencia acorde y una capacidad de formación del material fundido, estas características son críticas para la continuidad del proceso productivo, ya que como se mencionó en el capítulo 2, el proceso debe ser continuo y sumado al tiempo de permanencia del material dentro de la cuba en el proceso de fundición, al no satisfacer estas necesidades el proceso productivo genera vidrio interno de retorno.

Para el segundo paso en la creación del árbol de CTQ, se identificaron los requerimientos o conductores para cada una de las necesidades mencionadas.

En la figura 4-2 se detallan los requerimientos para cada una de las necesidades identificadas en el primer paso.

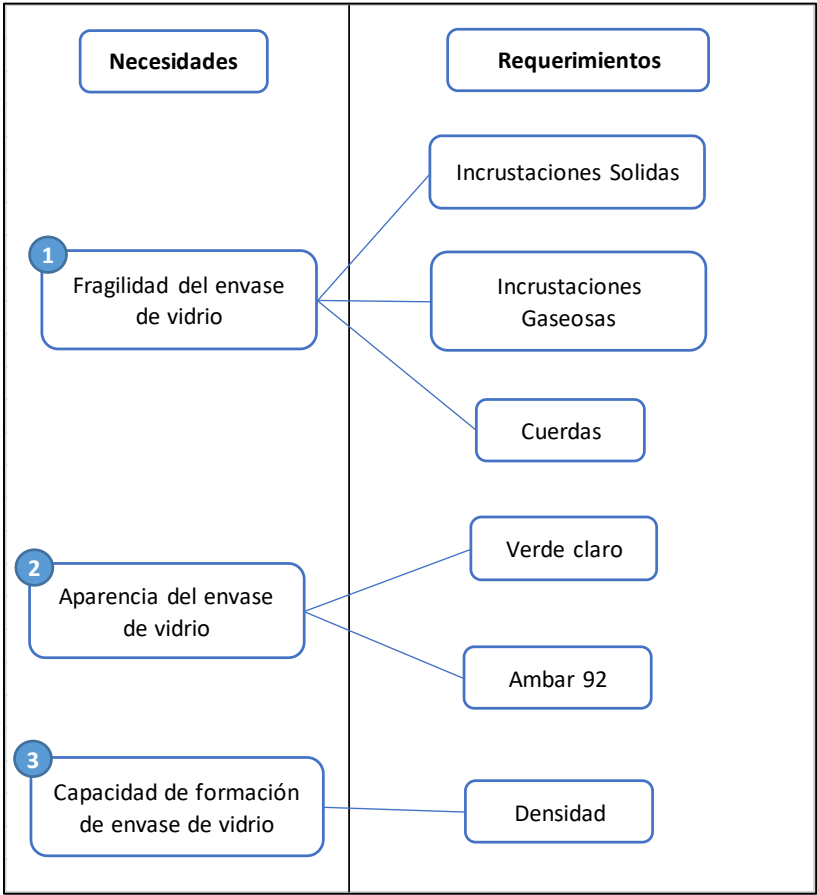


Figura 4-2 Necesidades y requerimientos del cliente

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

En esta etapa se identifica la voz del cliente, traduciendo esta en los requerimientos que debe cumplir el material fundido, se debe recordar que el material fundido es inspeccionado una vez frío en el área de inspección. Para “Fragilidad del envase de vidrio” se identifican las incrustaciones sólidas y gaseosas, junto a cuerdas, estas tres generan tensión en la estructura interna del vidrio haciendo los envases más frágiles y disminuyendo su resistencia a la presión interna. En el caso de “Apariencia del envase de vidrio” se identifican como requerimientos de cliente los colores verdes claro y ambar 92, estos son los producidos en el horno dentro del alcance de este estudio. Finalmente, para la tercera necesidad de “Capacidad de formación de los envases de vidrio”, se identifica

la densidad como requerimiento, ya que para cumplir con esta necesidad el material fundido debe poder ser moldeado.

Para concluir con el diagrama de árbol, se identifican las métricas con que se miden los requerimientos del cliente interno del proceso de Hornos y Batch House, además de alinear estos con las necesidades.

En el diagrama 4-2 se detalla el diagrama de árbol de los CTQ junto a las métricas.

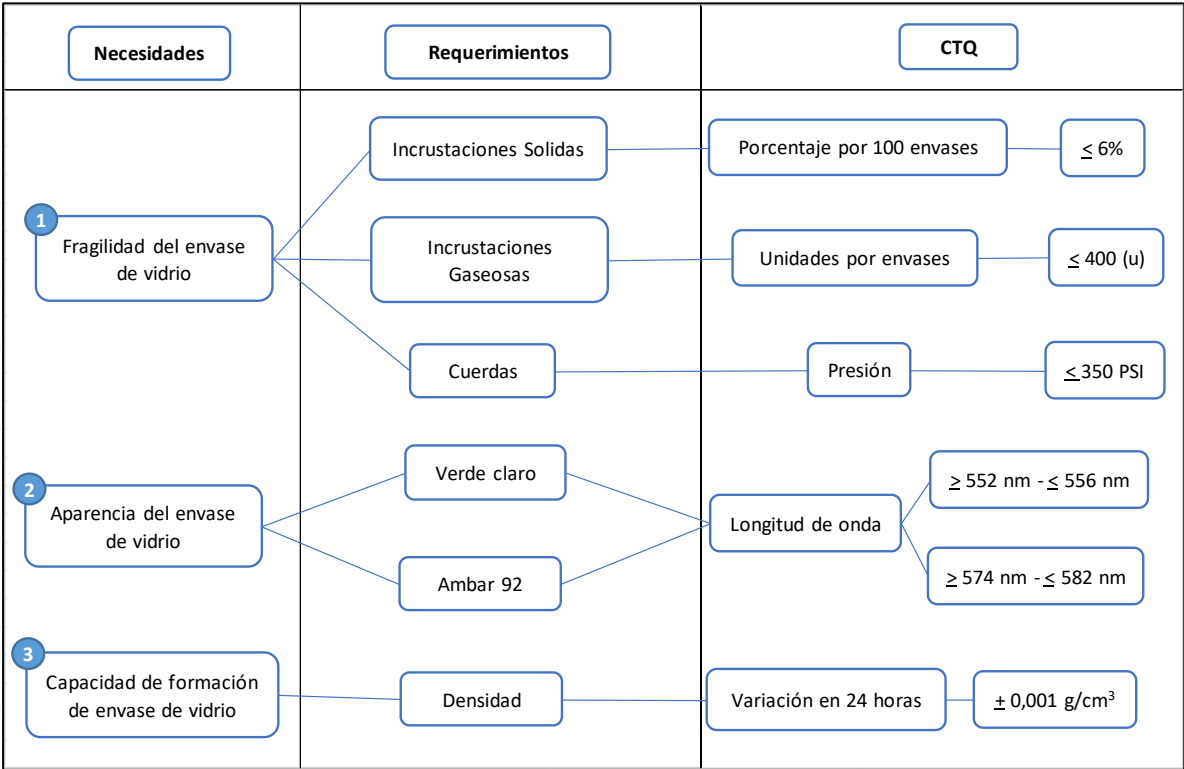


Diagrama 4-2: Diagrama de árbol CTQ.

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Los requerimientos de clientes relacionados a formulación son descartados para efecto de este estudio, como se menciona en las limitaciones en el capítulo 1, estos son: color verde claro, ambar 92 y densidad, por otra, parte no hay evidencia de cuerdas durante el primer semestre del año 2024.

Por lo anterior los CTQ que serán sometidos al estudio son incrustaciones sólidas y gaseosas, con el objetivo de definir la incidencia de estos en el retorno interno de vidrio.

Para continuar con el estudio se procede a estratificar el problema dentro del alcance, para determinar la incidencia de los CTQ dentro de este.

- **Estratificación del problema**

Para lleva a cabo este estudio, se ahonda en los resultados productivos del horno B, ubicado en la planta A, ya que es el único horno que se mantuvo con una producción constante en el periodo del año 2021 al 2023. Debido a lo expuesto anteriormente, se profundizará detalladamente en los resultados de este horno.

El vidrio de retorno interno del horno B en el primer semestre del año 2024, corresponde al 33% del total en la planta A.

Tabla 4-1 Toneladas de vidrio interno de retorno

Primer semestre 2024	Vidrio retorno internos Planta A	Vidrio retorno interno Horno B
Toneladas	41.073	13.695

Elaboración Propia

Para la contabilización de las 13.695 toneladas de vidrio de retorno interno, se sumaron las toneladas rechazadas en las líneas de inspección y el calcín, nombre que recibe el material fundido cuando sale del horno hacia los acopios de vidrio de retorno interno.

Para esclarecer la procedencia de esta cantidad de vidrio de retorno interno, es importante detallar la etapa de inspección de los envases en donde se realiza el rechazo del envase de vidrio.

La inspección de los envases de vidrio es donde se detectan los defectos del vidrio, esta inspección es al cien por ciento de las unidades producidas y en el instante que se detecta un defecto por sobre las especificaciones, manteniéndose este por un largo periodo de tiempo, se detiene la producción desde la etapa de formación. Cabe mencionar que en esta inspección se denominan SWA cuerpo a los defectos que son provocados en proceso de Hornos y Bartch House.

Cuando se detiene la producción desde la etapa de formación, el vidrio fundido continua su curso hacia las máquinas de formación, en donde es re direccionado y trasladado a los acopios de vidrio de retorno interno, desde aquí ingresa al proceso de chancado para ser ingresado nuevamente al proceso como parte de la composición o Batch.

A continuación, se muestra en el gráfico 4-1 un análisis de Pareto de los defectos identificados en el área de inspección, parte del vidrio de retorno interno generado en el horno B durante el primer semestre del año 2024. (Anexo A)

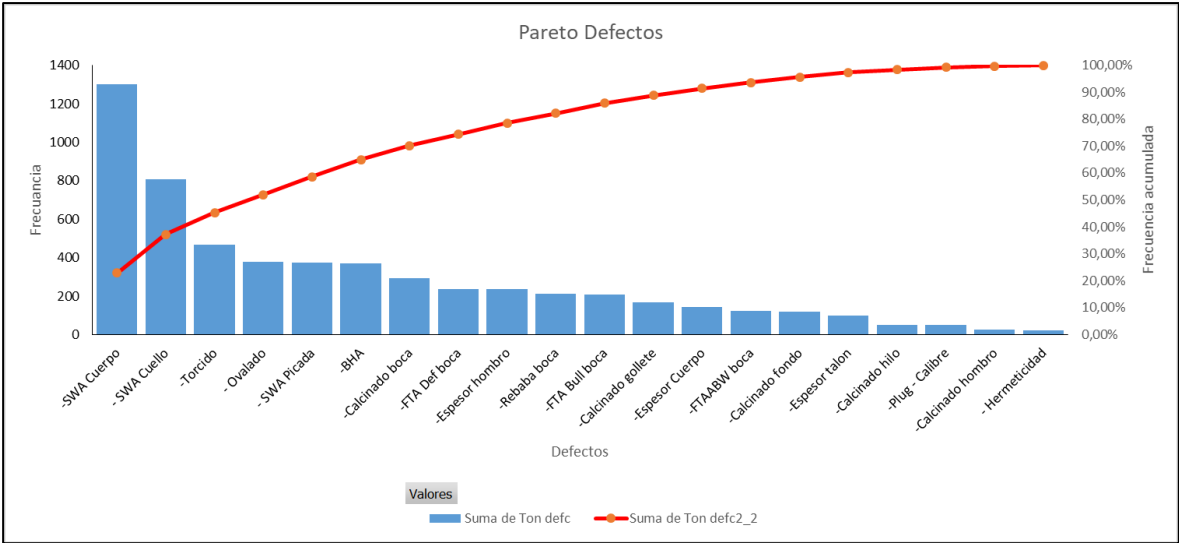


Gráfico 4-1: Gráfico de Patero defectos en área de inspección.

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

En total fueron 1300 toneladas de vidrio de retorno interno por defectos SWA cuerpo identificados en las líneas de producción, más las 10.718 toneladas de calcín, se determina que los defectos originados en el proceso de fundición del horno B, representan el 88% del vidrio de retorno interno de este horno, lo que corresponde a un total de 12.018 toneladas, generando un costo asociado por reprocesamiento de 24.371UF.

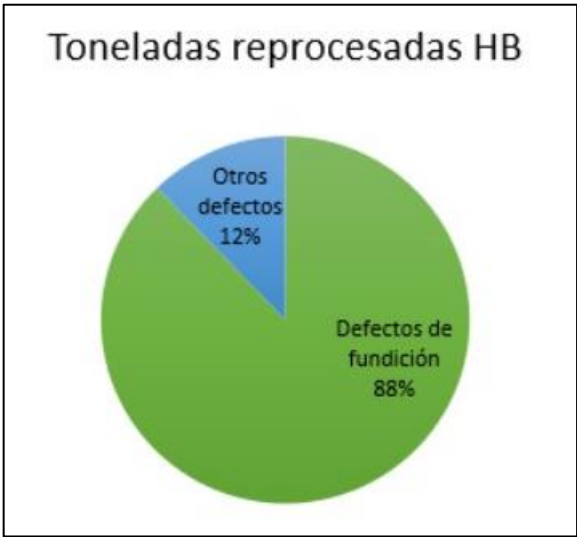


Gráfico 4-2: Gráfico de torta de toneladas reprocesadas en el Horno B.

Elaboración propia

Para determinar la incidencia de las incrustaciones sólidas y gaseosa en los defectos identificados como SWA cuerpo en las inspecciones de línea, se realiza un análisis de correlación.

Tabla 4-2 Correlación de incrustaciones sólidas y gaseosas con SWA cuerpo

	SWA Cuerpo	Incrustaciones sólidas %
% Incrustaciones sólidas	0.530	
Incrustaciones gaseosas	0.305	0.561

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

Se obtiene como resultado una correlación moderada entre los defectos SWA cuerpo e incrustaciones sólidas, con un valor de 0,53, existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables. Con respecto a la relación con incrustaciones solidas se observa una correlación moderada con un coeficiente de 0,305. Con estos resultados se valida la fuerza de la relación entre los defectos SWA e incrustaciones sólidas y gaseosas, sin embargo, no quiere decir que son variables causales.

- **Regresión**

Para validar la relación existente entre la variable dependiente de retorno interno de vidrio (Y), y las variables independientes de incrustaciones sólidas e incrustaciones gaseosas, se realizó un análisis de regresión, los resultados se muestran en la figura 4-3.

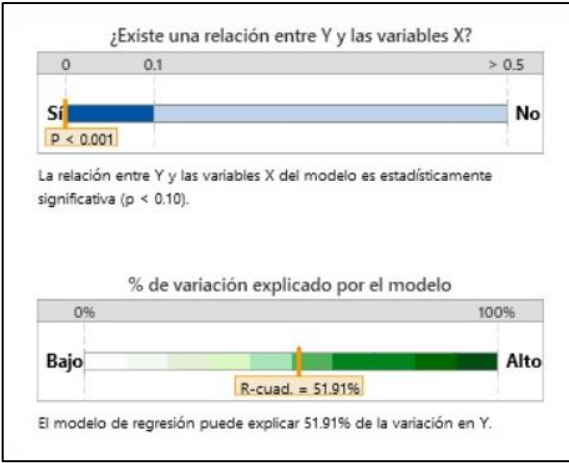


Figura 4-3 Resultados del modelo de regresión de incrustaciones sólidas y gaseosas con vidrio interno de retorno

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

La figura 4-3 muestra una relación estadísticamente significativa entre la variable dependiente con las variables independiente con un $p < 0,001$, lo que indica que las variables independientes tienen un impacto en la variable Y. Del mismo modo, los resultados del análisis de regresión entregan un $R^2 = 51.91\%$, esto quiere decir que las variables independientes de incrustaciones sólidas y gaseosas, explicarían el 51,91% de la variabilidad del vidrio interno de retorno, lo que deja que un 48,09% de la variación podría ser explicado por otra variable independiente, en este caso otro defecto generado en el proceso de Hornos y Batch House. Adicional a lo anterior, se calculó la fuerza de relación, aplicando el coeficiente de correlación entre Vidrio interno de retorno e incrustaciones sólidas que fue de un 0,572 y con incrustaciones gaseosas de 0.670, ambas presentan una fuerte correlación.

Tabla 4-3 Correlación de incrustaciones sólidas y gaseosas con vidrio interno de retorno

	Incrustaciones Solidas	Incrustaciones Gaseosas
Incrustaciones Gaseosas	0.626	
Perdidas prod	0.572	0.670

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

Estos resultados validan la continuidad del estudio, por lo cual se procederá ahondar en las siguientes etapas del estudio, en los análisis de los defectos de incrustaciones solidas e incrustaciones gaseosas, ya que más del 50% de la variabilidad del vidrio de retorno interno se podría solucionar aplicando mejoras en el proceso de fundición que permitan disminuir estos defectos.

4.2 Medir

Luego de analizar el impacto de los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas en el vidrio de retorno interno, es necesario determinar la capacidad que tiene el proceso de cumplir con los requerimientos del cliente interno que son los defectos mencionados anteriormente.

- Capacidad del proceso

Para evaluar la capacidad del proceso de cumplir con los requeriminetos del cliente de incrustaciones solidas e incrustaciones gaseosas, se utilizaron herramientas estadísticas de calidad, como gráficos de control para evaluar la estabilidad del proceso e índices de capacidad posteriormente.

Antes del detalle de los resultados del estudio estadístico de la capacidad del proceso, se debe mencionar, que se realizó la estratificación de los datos recolectados de retorno interno de vidrio en el periodo del alcance del proyecto, en normal y atípicos, siendo el segundo grupo el de interés con 37 datos (días de producción), que van de 150 a 322 toneladas de retorno interno de vidrio.

Tabla 4-4 Estratificación de datos para capacidad de proceso

Resumen			
Extremo inferior	Extremo superior	Valor codificado	Número de filas
1	150	Normal	144
150	322	Atípico	37
Retorno de vidrio interno			

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

○ Resultados Incrustaciones solidas

Inicialmente se evaluó la normalidad de los datos obtenidos en el periodo del alcance de este estudio, obteniendo un p-value 0,180 el cual indica que es aceptable la hipótesis de normalidad de los datos. En este caso de realiza el análisis de capacidad Poisson, a continuación, se muestran los resultados obtenidos. (Anexo B)

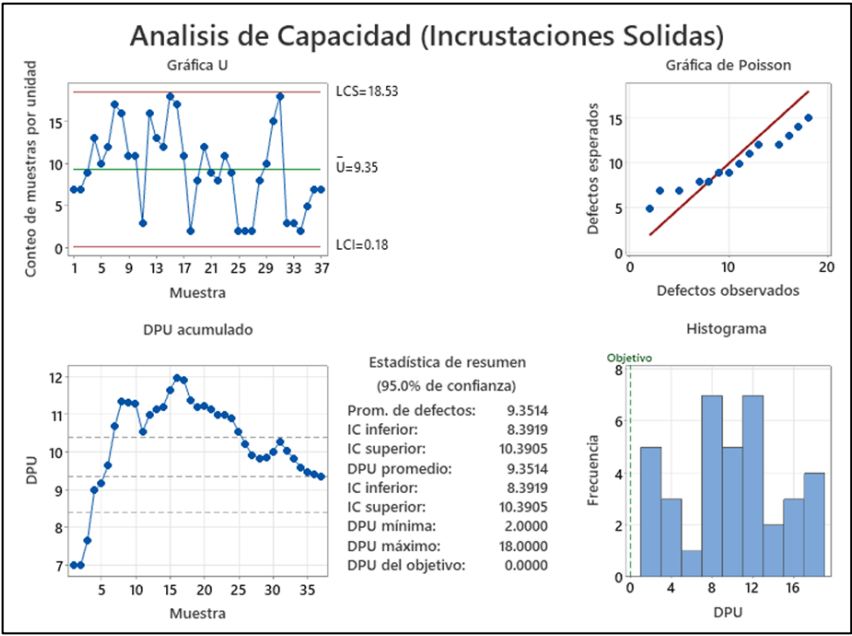


Figura 4-4 Análisis de capacidad y estabilidad, incrustaciones solidas

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

La variación de tasa de defectos se observa dentro de los límites de control, dados por el proceso, lo que indica que el proceso se encuentra bajo control, en el caso de los defectos por unidad, se observa estable.

Para el defecto de incrustaciones sólidas, existe un límite superior de especificación de 6%, es decir, que cada 100 envases de vidrios se permite un máximo de 6 envases con incrustaciones sólidas.

Con los datos obtenidos en el análisis de capacidad, sumado a las especificaciones del cliente, se obtiene un Cps de -0,0365, lo cual indica que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de incrustaciones sólidas.

○ Resultados Incrustaciones gaseosas

Inicialmente se evaluó la normalidad de los datos obtenidos en el periodo del alcance de este estudio, obteniendo un p-value 0,311 el cual indica que es aceptable la hipótesis de normalidad de los datos. En este caso se realiza el análisis de capacidad Normal, a continuación, se muestran los resultados obtenidos. (Anexo B)

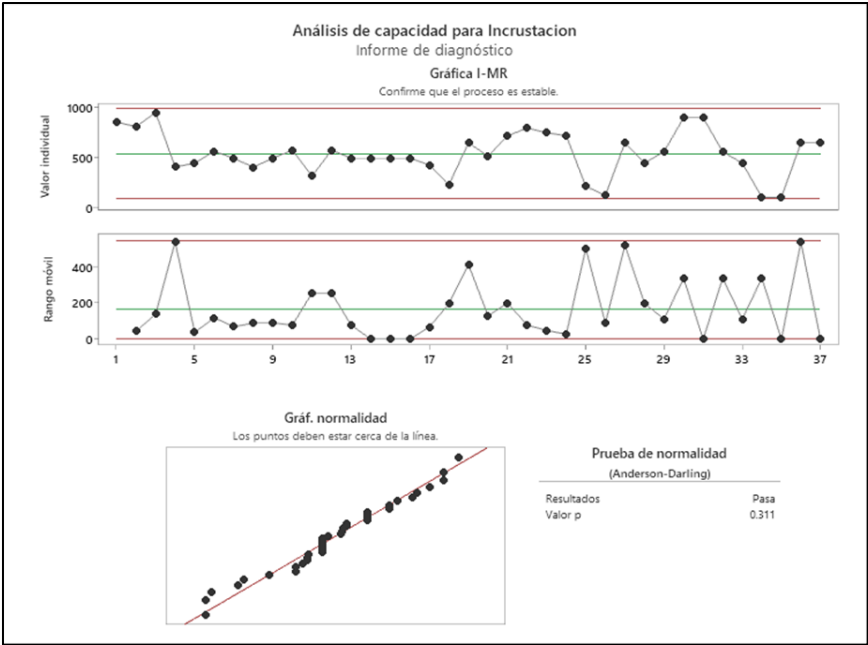


Figura 4-5 Análisis de estabilidad, incrustaciones gaseosas

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

Los resultados obtenidos con respecto a los límites de control de media y rango, dados por el proceso, se encuentran bajo control, es decir el proceso es estable para incrustaciones gaseosas.

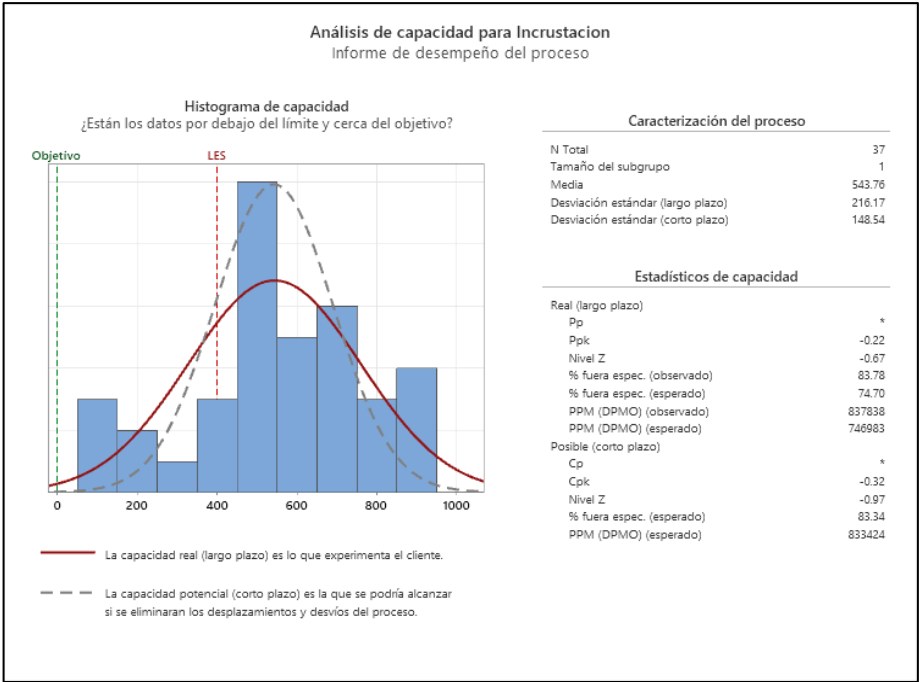


Figura 4-6 Análisis de capacidad, incrustaciones gaseosas

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

Para el defecto de incrustaciones gaseosas, existe un límite superior de especificación de 400 unidades por envase, independiente de su diámetro.

Con los datos obtenidos en el análisis de capacidad, sumado a las especificaciones del cliente, se obtiene un Cpk de -0,32, lo cual indica que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones de incrustaciones gaseosas.

El proceso actual no cumple con los requerimientos de los clientes, sin embargo, el proceso se muestra estable.

Con el objetivo de identificar la o las causas de la variabilidad del proceso, es fundamental realizar un análisis de causa, en la siguiente etapa se procede a utilizar las herramientas mencionadas en el marco teórico, para identificar las posibles causas raíces del problema,

4.3 Analizar

Antes de ahondar en el análisis de causa, se someten a estudio estadístico los datos recolectados de las variables de entrada medibles identificadas en el diagrama SIPOC, para validarlos y continuar con el análisis de causa. Quedan fuera de este estudio las variables de entrada “Estructura refractaria”, “Equipos” y Mano de obra” por no contar con la robustez necesaria para realizar el análisis estadístico.

Se procede a realizar el levantamiento de las variables de entrada medibles del proceso de Hornos y Batch House, las cuales se muestran en la tabla 4-5

Tabla 4-5 Variables críticas del proceso de Hornos y Batch House

Entradas	Variable crítica	Medible	Status actual
Materia primas	Arena 1	Composición de la arena	Sin registro
		Granulometría	Sin registro
		Proporción en la formulación	registro
	Arena 2	Composición de la arena	Sin registro
		Granulometría	Sin registro
		Proporción en la formulación	registro
	Cullet	Composición	Sin registro
		Granulometría	Sin registro
		Proporción en la formulación	registro
Condiciones operacionales	Nivel del vidrio	Variación del nivel de vidrio	Sin registro
	Carga de Materias primas	Oscilación de carga	Sin registro
		Altura de pala de carga	Sin registro
		Velocidad de carga	Sin registro
	Temperatura	Temperatura de Piso	registro
		Temperatura superior	registro
		Temperatura de garganta	registro
		Temperatura de Refiner	registro
		Temperatura Puente	registro
Energía	Presión interna	Presión interna	registro
	Combustión	Flujo de Combustible	registro
		Flujo de aire combustión	registro
	Eléctrica	Electroboosting (Kw)	registro

Elaboración propia

De las variables de entrada medibles descritas en la tabla 4-5, se descartan las que actualmente no cuentan con registros o datos para analizar, las cuales se propone sean sujeto de otro estudio.

Para la medición en el proceso de cada variable de condiciones operacionales y energía mencionada, se utiliza un instrumento acorde a lo requerido, los cuales emiten una señal que es interpretada por un sistema de control (MCS), el que realiza el control de las variables de nivel de vidrio, cargadores, combustible, aire combustión, presión interna, temperaturas y electroboosting de forma automática.

Para descartar la variación del sistema de medición, las variables de condiciones operacionales y energía que cuentan con registro de datos fueron evaluadas con un estudio del sistema de medición tipo 1, se utilizó este método ya que no hay intervención de operadores en la medición. (Gryna, y otros, 2007)

A continuación, se muestran en la tabla 4-6 los resultados del estudio del sistema de medición para las variables de condiciones operacionales y energía. (Anexo C)

Tabla 4-6 Resumen del estudio estadístico de las variables condiciones operacionales

Variable	Sesgo	Valor P	Estabilidad
Temperatura de piso	0,17	0,758	X
Temperatura superior 1	3,47	0,131	X
Temperatura superior 2	-2,63	0,222	X
Temperatura de garganta	-5,08	0,071	X
Temperatura de refiner	-3,5	0,078	X
Temperatura puente	-0,38	0,842	X
Presión interna	0,00001	0,322	X
Flujo de combustible	-6,22	0,328	X
Flujo de aire combustión	-12,4	0,915	X
Electroboosting	6,5	0,71	X

Elaboración propia

Se observa del estudio de medición que ninguna de las variables presenta un sesgo estadísticamente significativo, esto quiere decir, que cada sistema de medición no demuestra desviaciones respecto a los valores reales de cada variable, lo que se puede verificar con los resultados del valor p, que son mayores a 0,05, sin embargo, no se muestran estables en el tiempo. Esta falta de estabilidad indica que los sistemas de medición de las variables de condiciones operacionales y energía no son confiables a lo largo del tiempo, afectando el monitoreo y control del proceso de fundición de hornos y Batch House, por lo cual se procede a continuar el estudio con las variables críticas de materias primas.

- **Correlación y regresión**

Se realiza un análisis de correlación entre las variables críticas de entrada de materias primas y salidas identificadas en el estudio, que son las incrustaciones sólidas y gaseosas, con el objetivo de identificar relaciones significativas.

Para el análisis de correlación, se realizó una recolección de datos de las entradas de materias primas identificadas en el diagrama SIPOC, de las cuales se acotaron a los materiales que componen en mayor proporción la mezcla, siendo estas las arenas y el cullet. Se muestran los resultados del análisis de correlación de incrustaciones sólidas y materias primas en la tabla 4-7.

Tabla 4-7 Correlación cullet y arenas con incrustaciones sólidas

	incrustaciones		
	solidas	% Cullet	Arena 1
% Cullet	0.699		
Arena 1	0.284	0.240	
Arena 2	-0.284	-0.240	-1.000

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

Se evidencia una correlación fuerte positiva entre las variables de incrustaciones sólidas y cullet con un coeficiente de 0.699, demostrando que a medida que una sube la otra también sube. Así mismo se observa que la arena 1 presenta un coeficiente de 0,284 con una fuerza de correlación positiva débil, en cambio la arena 2 muestra un coeficiente de -0,284 siendo esto una correlación negativa débil.

En el caso de la variable de incrustaciones gaseosas, los resultados se muestran en la tabla 4-8.

Tabla 4-8 Correlación Cullet y arenas con insrustaciones gaseosas

	incrustaciones		
	gaseosas	% Cullet	Arena 1
% Cullet	0.454		
Arena 1	0.355	0.240	
Arena 2	-0.355	-0.240	-1.000

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

De la tabla 4-8 se evidencia una correlación positiva fuerte con un coeficiente de 0,454 entre la variable de incrustaciones gaseosas y cullet. En este caso se observa la misma relación entre las variables de arena 1 y arena 2 con las incrustaciones gaseosas, lo cual indica que una de ellas tiene una relación negativa con los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas.

Para evaluar el impacto de cullet en las variables dependientes de incrustaciones solidas y gaseosas se realizó un análisis de regresión, a continuación, se muestran en la figura 4-7 los resultados obtenidos para incrustaciones sólidas.



Figura 4-7 Resultados del modelo de regresión, cullet con incrustaciones sólidas

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

En la figura 4-7 se evidencia que la relación entre estas variables es estadísticamente significativa, además de que el cullet explicaría el 48,8% de la variación de incrustaciones sólidas y se confirma la fuerza de la relación existente entre estas variables.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el análisis de regresión de incrustaciones gaseosas y cullet.

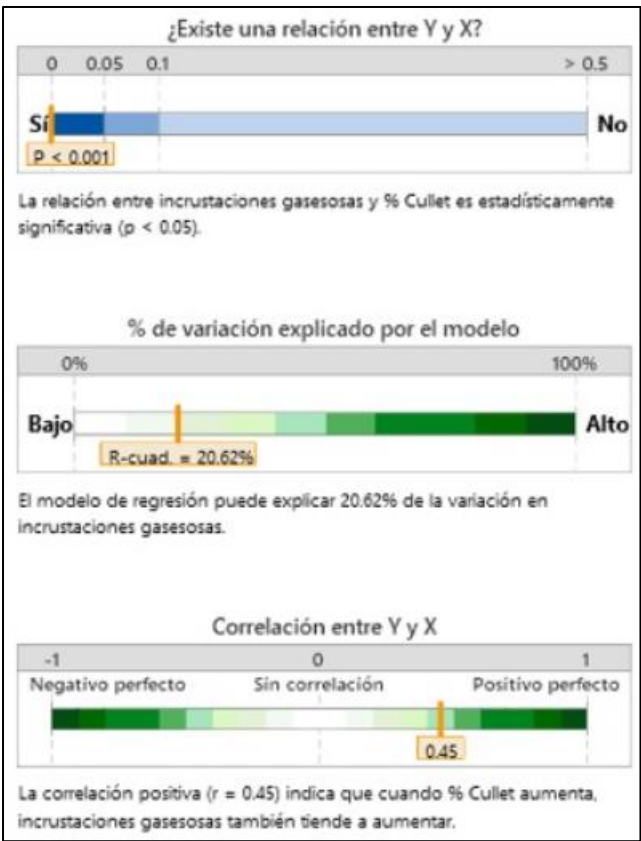


Figura 4-8 Resultados del modelo de regresión, cullet con incrustaciones gaseosas

Fuente: (Minitab, LLC, 2023).

En la figura 4-8 se evidencia que la relación entre estas variables es estadísticamente significativa, además de que el cullet explicaría el 20,62% de la variación de incrustaciones gaseosas y se confirma la fuerza de la relación existente entre estas variables.

Los resultados de correlación de muestran la fuerza que existe entre las variables, pero no implica causalidad, sin embargo, en este caso entrega una base cuantitativa para enfocar el análisis de causa, sumado al análisis de regresión que valida a la variable independiente de cullet como causa de un porcentaje importante de la variación de las incrustaciones sólidas y en menor medida a las incrustaciones gaseosas.

Los procesos de cullet serán el foco del análisis de causa en este estudio, ya que se demostró su implicancia en los incumplimientos de los requerimientos del cliente interno.

- **Análisis de causa raíz**

Para llevar a cabo el objetivo de esta etapa, se realizó una auditoria interna al proceso previo que ingrese el cullet a los silos de alimentación, visitando la planta de molienda y chancado, de la cual se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- Sin control interno al momento de la descarga de camiones de vidrio reciclado.
- El vidrio de retorno interno no cuenta con acciones correctivas cuando se encuentra contaminado.
- No se observa control en los procesos de recepción de vidrio reciclado y vidrio de retorno interno.
- Se observan los imanes de control sobresaturados, y sin programa de inspección.
- No se realiza limpieza de la línea de molienda al cambiar vidrio reciclado.
- No se realiza limpieza de la línea de molienda al cambiar vidrio reciclado.
- Reparaciones en caso de falla.
- Harneros se observa saturado y con grietas.
- No se realiza control de material procesado.
- La limpieza del vidrio reciclado se realiza de forma manual.
- No se lleva un registro de los procesos.
- No se realizan mediciones del vidrio reciclado recepcionado.
- No se lleva un control de las condiciones vidrio ingresado al proceso.
- El vidrio reciclado se almacena en lugares con alto riesgo de contaminación cruzada con material refractario.
- Camiones descargan sin supervisión de personal de la empresa.
- Personal no cuenta con evaluaciones y ni retroalimentación.
- No se cuenta con el equipamiento para la recepción y muestreo de camiones de vidrio reciclado

Con la información recolectada se realiza un diagrama de Ishikawa, utilizando el método 6M, el cual considera la evaluación de máquinas, método, medición, materias primas, mano de obra y medio ambiente como causas principales del efecto, que en este caso son los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas en envases de vidrio. Al ahondar en cada una de las observaciones antes mencionadas, se identifican las posibles causa y son clasifican en el diagrama de Ishikawa, a continuación, en el diagrama 4-3 se muestra el resultado de este análisis. (Anexo D)

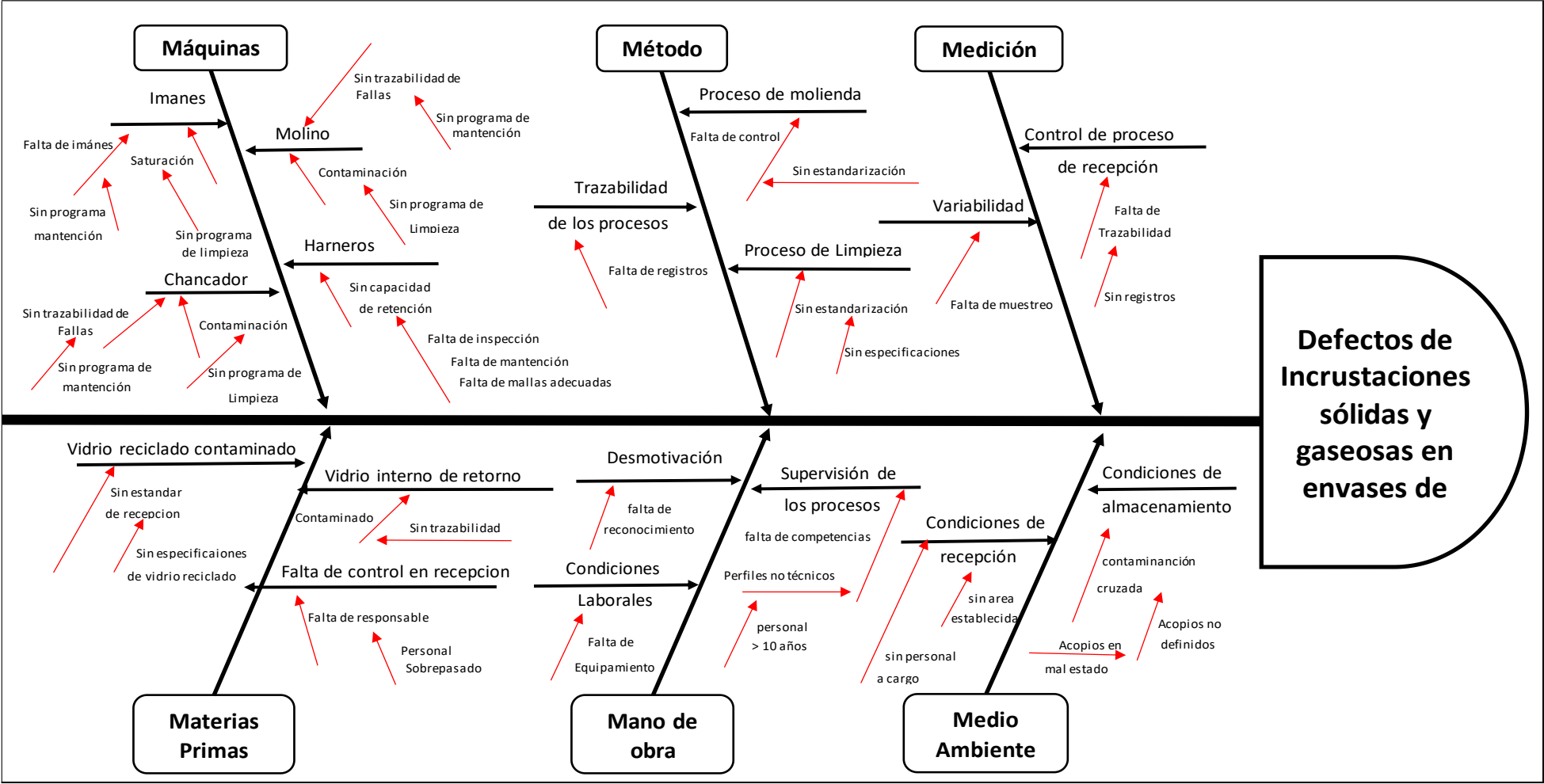


Diagrama 4-3 Diagrama de Ishikawa del proceso de Cullet

Elaboración propia, referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

Del diagrama anterior se identifican 22 causas posibles, las cuales se describen a continuación:

- Falta de limpieza de los imanes en los circuitos
- Falta de inspección de los imanes del circuito
- Falta de reposición de los imanes en partes del circuito
- Falta de repuestos
- Falta de trazabilidad de las mantenciones, sin evidencia de estas
- Falta de registros
- Falta de trazabilidad de vidrio de retorno
- Falta de estándar para procesar el vidrio de retorno interno y vidrio reciclado
- Proceso no estandarizado según tipo de vidrio
- Mallas en harnero no adecuadas
- Falta de inspección de mallas del harnero
- No se cambian las mallas deterioradas a tiempo
- Falta de especificaciones de vidrio reciclado
- Sin estándar de limpieza de vidrio reciclado
- Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado
- Acopios no definidos
- Acopios en mal estado
- Capacidad del personal sobre pasada
- Falta de reconocimiento al personal
- Personal con más de 10 años en el cargo
- Sin personal a cargo de la recepción los camiones de vidrio reciclado.

- **Diagrama de relaciones**

Debido a la cantidad de posibles causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y por el nivel de complejidad de estas y el proceso, se realiza un segundo análisis a través de un diagrama de relaciones, con el objetivo de discernir entre causas principales, elementos claves y efectos principales.

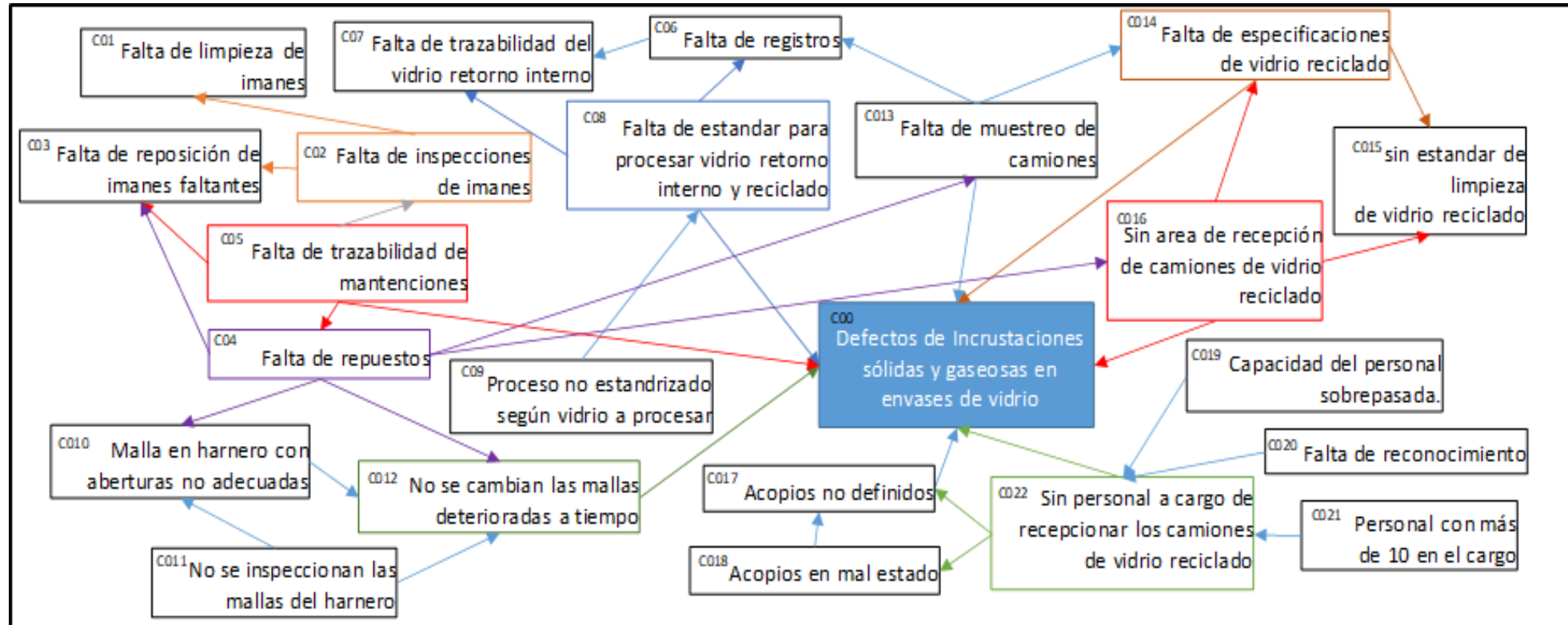


Diagrama 4-4 Diagrama de relaciones causa - efecto

Elaboración propia, Referencia: (Gutiérrez Pulido, y otros, 2009)

En el diagrama de relaciones, anterior se identifican como las causas a las cajas que entregan flechas y efectos quienes las reciben, el resumen de los resultados del análisis de esta información se describe a continuación en la tabla 4-9, donde se ponderan cada una de las acciones, según su fuerza de causa y fuerza de efecto, determinando las causa principal, efecto principal o elemento clave. (Anexo E)

Tabla 4-9 Resultados análisis fuerza de causa y fuerza de efecto

Cod	Análisis de Causa	Fuera de causa	Fuerza de efecto	Total	Tipo
C04	Falta de repuestos	5	1	6	Causa principal
C05	Falta de trazabilidad de mantenciones	4	0	4	Causa principal
C08	Falta de estándar para procesar vidrio de retorno interno y vidrio reciclado	3	1	4	Causa principal
C13	Falta de muestreo de camiones	3	1	4	Causa principal
C16	Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado	3	1	4	Causa principal
C12	No se cambian las mallas deterioradas a tiempo	1	3	4	Efecto principal
C14	Falta de especificaciones de vidrio reciclado	2	2	4	Elemento Clave
C22	Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado	3	3	6	Elemento Clave

Elaboración propia

Como resultado de este análisis se reducen las posibles causas raíces de 22 a 8, las cuales se clasificaron en las siguientes categorías:

Tabla 4-10 Clasificación de los elementos claves y causas - efectos principales

Clasificación	Causas identificadas
Gestión de procesos	Falta de estándar para procesar vidrio de retorno interno y vidrio reciclado
	Falta de especificaciones de vidrio reciclado
Procesos operativos	Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado
	Falta de muestreo de camiones
	Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado
Mantenimiento	Falta de trazabilidad de mantenciones
	Falta de repuestos
	No se cambian las mallas deterioradas a tiempo

Elaboración propia

Al clasificar las causas, se identifican dos categorías relacionadas directamente con los procesos de cullet o vidrio reciclado, las cuales son gestión de procesos y procesos operativos. En el caso de las causas relacionadas a mantenimiento se incorporarán planes de acción a la propuesta de mejora seleccionada más adelante, ya que se considera esencial para la continuidad de los procesos de vidrio reciclado.

4.4 Mejora

Para reunir propuestas de mejora en los procesos de vidrio reciclado, se realiza una sesión de lluvia de ideas, que permita incluir las distintas opciones para mejorar estos procesos.

Con el objetivo de seleccionar correctamente cada una de las opciones, en primera instancia se establecen los criterios de evaluación que se describen a continuación:

- Impacto en la calidad
- Viabilidad técnica
- Tiempo estimado
- Soporte existente

Una vez seleccionados los criterios se realiza una comparación de la importancia relativa de cada uno de ellos con el resto de los criterios. En la tabla 4-11 se muestra el resultado de la ponderación obtenida.

Tabla 4-11 Ponderación de criterios

Criterio	Impacto en la calidad	Viabilidad técnica	Tiempo estimado	Soporte existente	Total	% ponderado
Impacto en la calidad		5	2	2	9	39
Viabilidad técnica	0,2		5	2	7,2	31
Tiempo estimado	0,5	0,2		5	5,7	25
Soporte existente	0,5	0,5	0,2		1,2	5
Total	1,2	5,7	7,2	9	23,1	

Elaboración propia, referencia: (Camisón , y otros, 2006)

Luego se clasificaron las prioridades de cada uno de los criterios, los cuales se muestran en la tabla 4-12.

Tabla 4-12 Priorización de criterios

	3	2	1
Impacto en la calidad	Alto	Medio	Bajo
Viabilidad técnica	Alto	Medio	Bajo
Tiempo estimado	Bajo	Medio	Alto
Soporte existente	Alto	Medio	Bajo

Elaboración propia, referencia: (Camisón , y otros, 2006)

A continuación, se muestra en la tabla 4-13 el resultado del análisis de priorización para las propuestas de mejora en el proceso de cullet o vidrio reciclado, lo que permitió identificar la opción más viable de acuerdo a las condiciones actuales del proceso.

Tabla 4-13 Priorización de propuestas de mejora

Lluvia de Ideas	Impacto en la calidad (39%)	Viabilidad técnica (31%)	Tiempo estimado (25%)	Soporte existente (5%)	Total
Compra de vidrio reciclado procesado	3	1	2	1	2
Externalizar proceso de recepción de vidrio reciclado	1	1	3	1	2
Modernizar planta de molienda	3	2	1	1	2
Automatizar recepción de vidrio reciclado	1	2	1	1	1
Estandarizar procesos de vidrio reciclado	3	3	3	2	3

Elaboración propia, referencia: (Camisón , y otros, 2006)

El proceso de lluvia de ideas arrojó 5 propuestas de mejoras, las cuales fueron sometidas a un análisis de priorización, con criterios establecidos y ponderados previamente, como resultado de este análisis se determina que “Estandarizar procesos de vidrio reciclado”

cuenta con el puntaje mayor, seguida por “Compra de vidrio reciclado procesado”, “Externalizar proceso de recepción de vidrio reciclado” y Modernizar planta de molienda” y como última alternativa se encuentra “Automatizar recepción de vidrio reciclado”

Para alcanzar el objetivo de “Estandarizar procesos de vidrio reciclado”, se propone el siguiente plan de mejora e implementación, aplicando la metodología PDCA.

- **Ciclo PDCA**

Para alcanzar el objetivo de “Estandarizar procesos de vidrio reciclado”, se propone el siguiente plan de mejora e implementación de está utilizando la metodología PDCA. A continuación, en la tabla 4-14 se muestran las acciones y tarea planificadas para llevar a cabo el plan propuesto.

○ **Planificar**

Tabla 4-14 Plan de acciones

Categoría	Causa / efecto / elemento	Acciones	Tareas
Gestión de procesos	Falta de estándar para procesar vidrio de retorno interno y vidrio reciclado	Analizar y documentar el proceso actual	-Realizar mapeo del proceso identificando las actividades relacionadas al manejo del vidrio de retorno interno y reciclado -Identificar las variables críticas que afectan la calidad del vidrio de retorno interno y reciclado
		Desarrollar estándar operacionales	-Definir criterios de aceptación del vidrio reciclado -Definir criterios de separación y tratamiento del vidrio de retorno interno -Definir métodos de inspección del vidrio de retorno interno
		Crear procedimientos estandarizados	-Recepción de vidrio reciclado -Inspección, separación y tratamiento del vidrio de retorno interno

		Capacitar al personal	-Crear programa de capacitación de los procedimientos definidos
	Falta de especificaciones de vidrio reciclado	Investigar y analizar	-Investigar estándares internacionales -Definir características actuales del vidrio reciclado (análisis de laboratorio)
		Definir especificaciones	-Determinar porcentajes máximos de contaminantes permitidos -Determinar rangos aceptables granulometría -Determinar porcentaje de Humedad máximo permitido -Determinar porcentajes máximos permitidos de mezcla de colores
		Estandarizar especificaciones de vidrio reciclado	-Crear ficha técnica de vidrio reciclado
		Capacitar al personal involucrado	-Crear programa de capacitación de los procedimientos definidos
			-Comunicar las nuevas especificaciones a los proveedores
Categoría	Causa / efecto / elemento	Plan de mejora	Tareas
Procesos operativos	Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado	Diseñar área de recepción de camiones	-Implementar 5s en patios de acopio de vidrio reciclado -Seleccionar espacio estratégico -Definir espacios necesarios
		Definir infraestructura	-Señalizar espacios definidos -Construcción de mejoras en el espacio definido -Adquirir equipamiento necesario
	Falta de muestreo de camiones	Diseñar un sistema de muestreo	-Levantar sistema de llegada de camiones de vidrio reciclado -Identificar proveedores y clasificar según formato y estado del vidrio reciclado
		Definir muestreo	-Crear plan de muestreo según formato en que llega el vidrio reciclado
		Implementar sistema de registro	-Crear formato estándar para documentar los resultados
		Capacitar al personal	Crear programa de capacitación de los planes de muestreo
	Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado	Diagnóstico	-Evaluar volumen de trabajo y necesidades
		Definir roles y responsabilidades	-Crear un puesto específico
			-Definir número de personas requeridas
		Contratar	-Selección y contratación del personal

		Capacitación	-Crear programa de capacitación del nuevo personal
Categoría	Causa / efecto / elemento	Plan de mejora	Tareas
Mantenimiento	Falta de trazabilidad de mantenciones	Evaluar sistema de trazabilidad para mantenciones	-Definir necesidades del sistema -Evaluar opciones disponibles y determinar la más óptima de acuerdo a las necesidades identificadas
		Implementar sistema de trazabilidad de mantenciones	-Crear programadas de mantenciones -Registrar tareas -Almacenar historial -Crear alertas preventivas en sistema
		Estandarizar flujo de trabajo	-Crear procedimiento de trabajo de mantenciones -Implementar sistema de codificación interna para los equipos
		Capacitación	-Crear programa de capacitación del nuevo sistema de trazabilidad
	Falta de repuestos	Diseñar un sistema de inventarios	-Identificar equipos y repuestos críticos del sistema de molienda -Levantar el estado actual del inventario -Alinear de acuerdo a las necesidades del sistema
		Implementar prueba piloto de sistema de inventario	-Establecer Stock mínimos de inventario -Implementar FIFO y LIFO de acuerdo a las necesidades de mantención -Crear listas de repuestos críticos -Automatizar pedidos de reabastecimiento basados en los niveles de inventario
		Capacitación	-Crear programa de capacitación del nuevo sistema de inventario
	No se cambian las mallas deterioradas a tiempo	Diseñar programa de inspección	-Establecer criterios de reemplazo de mallas -Definir frecuencia de reemplazo de mallas
		Definir stock mínimo de mallas	-Asegurar disponibilidad de mallas en el inventario
		Estandarizar inspección y reemplazo de mallas	-Crear procedimiento de inspección y reemplazo de mallas en sistema de molienda
		Capacitación	-Crear programa de inspección y reemplazo de mallas

Antes de continuar con la propuesta de implementación, se realiza un estudio de costo beneficio, para determinar si el plan propuesto es rentable a corto o mediano plazo, a un máximo de 3 años.

Para cuantificar el impacto económico de la propuesta de mejora en el proceso de Hornos y Batch House, que permita disminuir los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas, se realizará un flujo de caja del proyecto, acotando el beneficio de los resultados a un 20% del análisis de regresión entre las incrustaciones sólidas y gaseosas con cullet. (Anexo F)

Tabla 4-15 Resultados de análisis de costos

	1	2	3
Flujo Incremental (M\$)	2025	2026	2027
Beneficios / Ahorros	93,3	93,3	93,3
Costos	-1,5	-1,5	-1,5
Mantenición Ordinaria	0	-3,3	-3,3
Depreciación	-9,2	-9,2	-9,2
Margen Operacional	82,6	79,3	79,3
Impuestos (27%)	-22,3	-21,4	-21,4
Resultado Ejercicio	60,3	57,9	57,9
Depreciación	9,2	9,2	9,2
Inversión/mantenciones Mayores	-138,4		
Flujo	-138,4	69,5	67,1
Calculo Tir	-138,4	69,5	67,1
Calculo PB			
VAN (MM\$)	8,0%	174,1	
TIR		43%	
Payback		2,03	

Elaboración propia

La tasa de oportunidad se estima a un 8%, que sería la rentabilidad mínima para recuperar la inversión, un VAN de 174.1 estaría indicando que el proyecto es viable y rentable. En el caso del TIR de 43% indica que se espera un buen rendimiento del proyecto. El Payback de 2,03, lo que indica que el retorno de inversión se comenzaría a percibir a contar del año 2, lo cual se encuentra dentro de lo esperado. Adicional a lo anterior se calcula el costo – beneficio, dando como resultado un 1,87, lo que indica que por cada unidad monetaria invertida se obtendrían 1,87 unidades de beneficio.

- **Hacer**

Al demostrar que el plan de mejora es rentable, se procede a proponer la planificación, organización y asignación de responsables de las acciones y tareas del plan propuesto. Esto representado gráficamente por medio de una carta Gantt, dividida en tres fases lo que ayudará a visualizar el tiempo estimado de la propuesta.

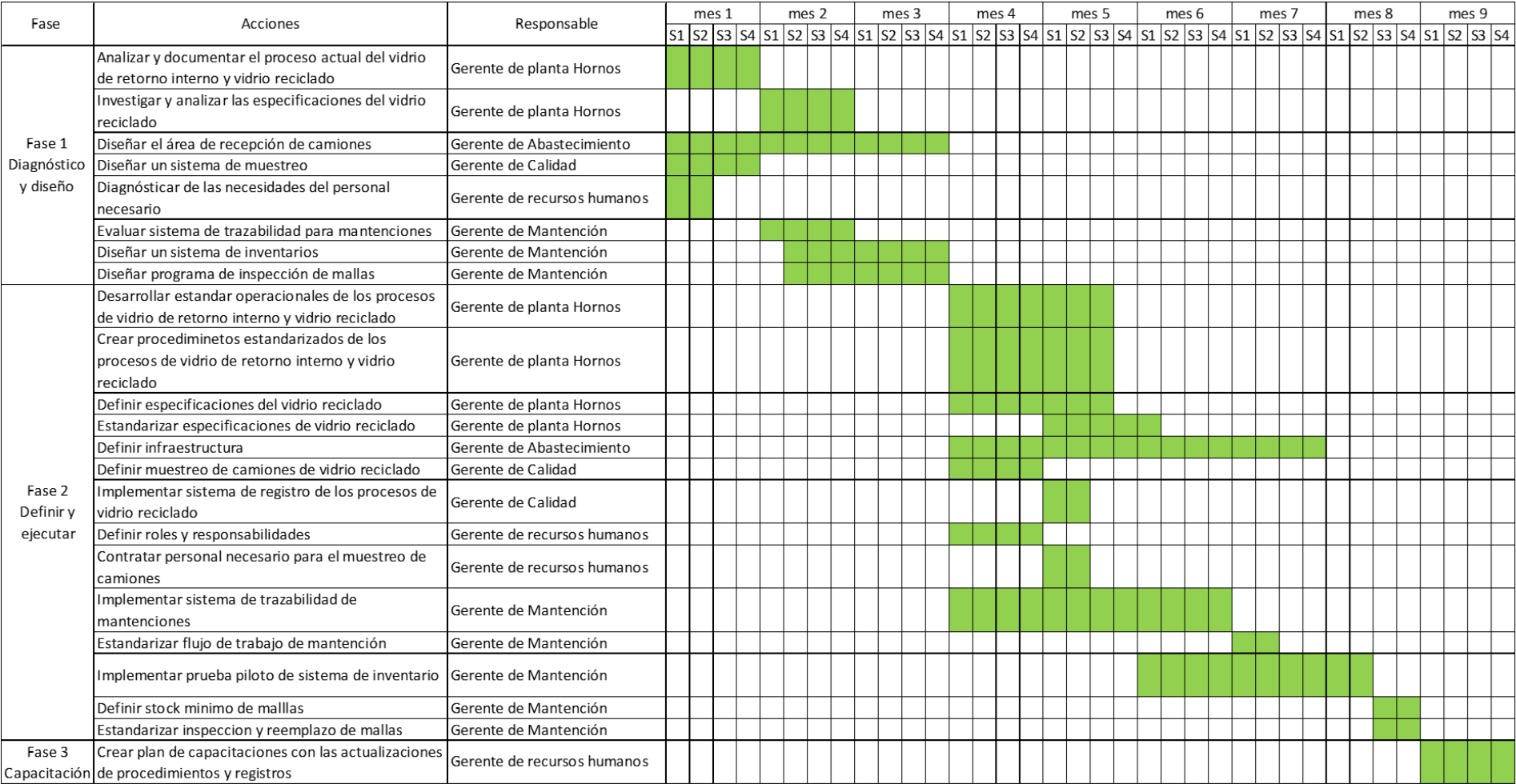


Diagrama 4-5 Carta Gantt propuesta de mejora.

Elaboración propia, referencia: (Gantt, 1919)

La fase 1 de diagnóstico y diseño cuanta con una estimación de 3 meses para su implementación, la fase 2 de diseño y ejecución se estima un tiempo de 8 meses para su implementación y la última fase de capacitación 1 mes. En total se propone una implementación de 9 meses del plan propuesto.

○ **Verificar**

Para la verificación del plan de mejora se propones establecer un seguimiento a través de un programa de auditorías a los procesos relacionados al vidrio reciclado, los cuales se detallan a continuación:

- Programas de auditorías de procesos
 - Proceso de recepción de vidrio reciclado
 - Tratamiento del vidrio de retorno interno
 - Proveedores de vidrio reciclado
 - Sistema de gestión de mantención

El objetivo de estas auditorías es determinar el cumplimiento de las acciones antes mencionadas en el plan de mejora, para esto se realiza una tabla con los indicadores de desempeño considerados más relevantes.

Tabla 4-16 Indicadores de control

Indicadores claves		Meta
Disponibilidad de repuestos críticos	(Número total de repuestos críticos necesarios / Número de repuestos críticos disponibles)×100	≥95%
Cumplimiento de programas de inspección	(Número de inspecciones programadas / Número de inspecciones realizadas) ×100	≤90%
Reducción de defectos por materiales contaminantes	(Defectos iniciales - Defectos actuales / Defectos iniciales) ×100	≥20%

Tiempo de reposición de repuestos	$\Sigma(\text{Tiempo de reposición de cada repuesto}) / \text{Número total de reposiciones}$	≤ 48 horas
Cumplimiento del plan de muestreo	$(\text{Número de camiones muestreados} / \text{Número de camiones recepcionados}) \times 100$	$\geq 95\%$

Elaboración propia

○ Actuar

El proyecto no contempla la implementación del plan de mejora, es por esto que no propondrán acciones de corrección, sin embargo, en la etapa anterior se describieron los indicadores con los cuales se verificará el plan de mejora propuesto, en caso de no cumplir la propuesta es comenzar el ciclo nuevamente, identificando las desviaciones y analizando sus causas.

4.5 Controlar

Los controles se clasifican de acuerdo a las categorías anteriormente descritas de las causas.

Tabla 4-17 Propuesta de control

Categoría	Controles	
Gestión de procesos	Procedimientos estandarizados de los procesos	Recepción de vidrio reciclado
		Limpieza del vidrio reciclado
		Ficha técnica del vidrio reciclado
		Determinación de Humedad del vidrio reciclado
		Determinación de contaminantes del vidrio reciclado
		Determinación de contaminantes del vidrio de retorno interno
		Determinación de la mezcla de colores del vidrio reciclado
		Análisis del vidrio de retorno interno
		Limpieza del vidrio de retorno interno
Procesos operativos	Gráficos de control	Proceso de molienda del vidrio reciclado
		Humedad del vidrio reciclado
		Contaminantes del vidrio reciclado
		Granulometría del vidrio reciclado
		Mezcla de colores del vidrio reciclado
	Indicadores	% de camiones muestreados conformes
	Auditorías internas	Procesos del vidrio reciclado
Mantenimiento	Lista de verificación	Inspección de mallas
		Inspección del estado de la planta de molienda
	Indicadores	% de cumplimiento de los planes de mantención
		% de cumplimiento de los planes de inspección
		Tasa de cambio de malla
	Auditorías internas	Sistema de gestión de mantención

Elaboración propia

5. Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de la metodología DMAIC en este estudio, permitió realizar un análisis estructurado y metódico del problema, iniciando con la identificación de los requerimientos críticos de los clientes internos, por medio de un diagrama SIPOC y un árbol CTQ, concluyendo que los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosa serían las variables a estudiar, así mismo se definió la relación existente con la problemática.

Al aplicar las diferentes herramientas de la calidad permitió definir y acotar la problemática que aqueja a la organización, la cual fueron las cerca de 41.000 toneladas de vidrio interno de retorno en el primer semestre del año 2024 en la planta A, definiendo que solo cerca de 12.000 toneladas se generaban por el incumplimiento de los requerimientos de los clientes en el horno B, de este mismo modo, se evaluó la relación de esta cantidad de vidrio interno de retorno con los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas, concluyendo que estos defectos impactan más de un 50% en la variación del vidrio interno de retorno. Con esta información se avanzó a la etapa de medición, realizando un análisis de capacidad, del cual se concluyó que el proceso no es capaz a corto plazo de cumplir con los requerimientos de incrustaciones sólidas con un Cpk de -0.0365 y en el caso de las incrustaciones gaseosas con un Cpk de -0.32, en ambos se concluye de igual forma, que el proceso no es capaz a largo plazo con un Ppk -0.0365 para incrustaciones sólidas y un Ppk -0.22 para las gaseosas.

Con los hallazgos identificados al evaluar la capacidad del proceso, se continuó con el estudio a fondo de las variables de entrada críticas medibles del proceso de Hornos y Batch House, iniciando con un estudio estadístico de las variables de condiciones operacionales del proceso de fundición como tal, del cual se concluye que a pesar de que el sistema de medición no demuestra desviaciones significativas respecto a los valores reales de cada variable, no es estable en el tiempo, por lo cual el sistema no sería confiable, para continuar con el estudio con el análisis de estas variables.

A raíz de lo anterior, se continuo el estudio con las variables de entrada de materias primas, evaluando la relación con los defectos identificados, de las cuales destaca cullet con un coeficiente de correlación de 0.699 y que esta variable explica un 48% en la variación de incrustaciones sólidas. Algo semejante en menor medida ocurre con la variable cullet e incrustaciones gaseosas, ya que arrojó un 0.454 de coeficiente de correlación y una explicación de 20% en la variación de estas incrustaciones. Es por esta razón que se continua la etapa de análisis de causa para identificar la raíz del problema en los procesos de Cullet.

En esta etapa se identificaron 22 posibles causas de los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas, a través de un análisis de Ishikawa, las cuales se acotaron por medio de un análisis de fuerza de causa y efecto, obteniendo en total 8 posibles causas, las cuales se clasificaron en “Gestión de procesos”, “Procesos operativos” y “Mantenimiento”.

Finalmente, por medio de un proceso de priorización se determinó que dentro de las opciones de propuestas de mejora “Estandarizar los procesos relacionas al vidrio reciclado” es la opción más viable, dada las condiciones actuales de la organización. Es aquí donde se procede a proponer un plan de mejora, el cual fue sometido a un estudio de costos, considerando un 20% de lo que significa el beneficio de los resultados, lo que se alinea con los resultados del modelo de regresión, el cual se acota solo al 20% de explicación de la variación de los defectos, se concluye que el plan propuesto es viable y rentable, con un VAN 174 y un TIR 43%, con un retorno de inversión de un poco más de 2 años, el cual sería implementado en su totalidad en 9 meses.

Las mejoras propuestas en los procesos de cullet seleccionadas en este proyecto, disminuirían los defectos de incrustaciones sólidas y gaseosas generados en el proceso de hornos y Batch House, impactando positivamente en los rendimientos productivos, se esperaría una disminución de los costos asociados a los reprocesamientos y un aumento en la satisfacción de los clientes. Así también, se espera un aumento en la eficiencia del proceso de fundición, ya que sería posible aumentar la cantidad de Cullet en la mezcla, bajando el consumo de materias primas y disminuyendo el consumo de combustibles fósiles.

De los Hallazgos encontrados en el estudio se recomiendan las siguientes acciones:

- Implementar un sistema de gestión en los procesos de mantención de equipos que intervienen en el proceso de fundición, que permita robustez en la data y lograr analizar esta.
- Realizar un levantamiento del estado actual del sistema de medición de los instrumentos que operan en el proceso de función como tal.
- Implementar un sistema de control estadístico de procesos en el proceso de fundición como tal.

Bibliografía

[En línea] <https://www.empresaslogros.cl/blog/analisis-costo-beneficio-inversion>.

[En línea] <https://www.ingenioempresa.com/diagrama-de-relaciones/>.

Association, Global Trust. 2023. [En línea] 2023. <https://globaltrustassociation.org/es/el-arbol-ctq-critical-to-quality/>.

Camisón , Cesar, Cruz , Sonia y González, Tomás. 2006. *Gestión de la calidad, conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Madrid : Prearson Prentice Hall, 2006.

Gantt. 1919. *Work, Wages, and Profits*. New York : Engineering Magazine, 1919.

Gryna, Frank M., Chua, Richard C.H y Defeo, Joseph A. 2007. *Método Juran, análisis y planeación de la calidad* . México, D.F. : Mc Graw Hill, 2007.

Gutiérrez Pulido, Humberto y De la Vara Salazar, Román. 2009. *Control estadístico de la calida*. México : McGraw Hill, 2009.

Jácome Lara, Ibett y Carvache Franco, Orly. 2017. Análisis del Costo – Beneficio una Herramienta de gestión . *Análisis del Costo – Beneficio una Herramienta de gestión* . Cotopaxi; Guayaquil : Universidad Técnica de Cotopaxi; Universidad Católica Santiago de Guayaquil, 2017. Vol. 15, 2. 1696-8360.

Johnson , Robert y Kuby, Patricia. 2016. *Estadística Elemental*. México : Cengage Learning, 2016.

Navarro, José María Fernández. 2003. *El vidrio*. Madrid : Artegraf, S.A, 2003.

Plan de carrera Crece. S.A., Cristalerías de Chile. [s.a.]. [s.a.], Plan de carrera Crece, pág. 206.

S.A., Cristalerías de Chile. 2024. Memoria 2023. [En línea] 14 de 10 de 2024. www.cristalchile.cl.

Standardization, International Organization for. 2015. Sistemas de gestión de la calidad . *Sistemas de gestión de la calidad* . Ginebra : International Organization for Standardization., 2015. ISO 9000:2015.

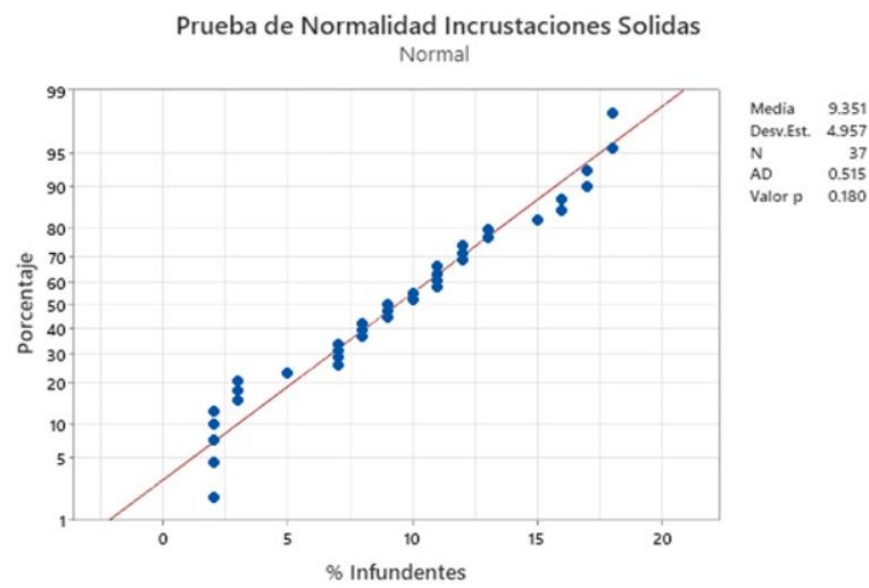
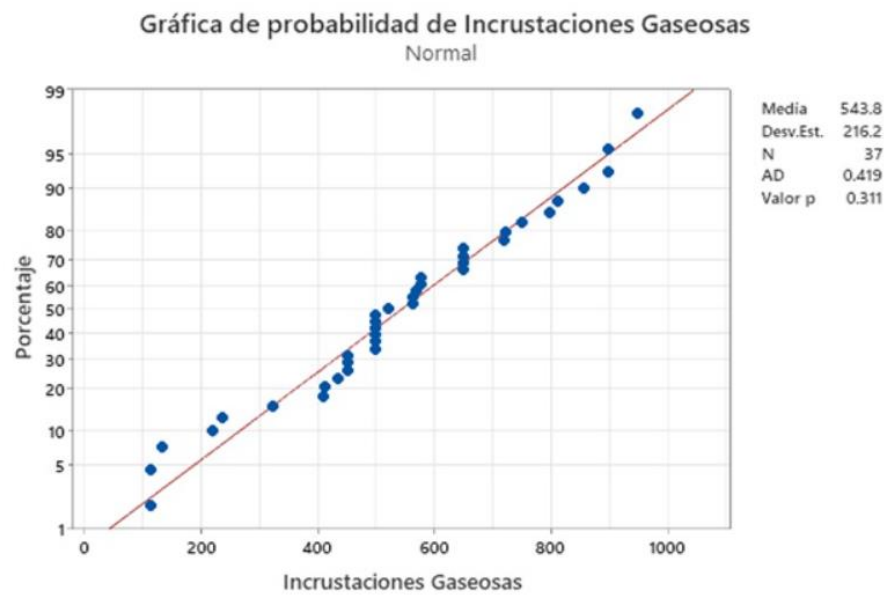
Standardization., International Organization for. 2018. Directrices para auditorías de sistemas de gestión. *Directrices para auditorías de sistemas de gestión*. Ginebra : International Organization for Standardization., 2018. ISO 19011:2018.

Minitab, LLC. (2023). *Minitab® Statistical Software* (Versión 21) [Software]. <https://www.minitab.com>

Anexo A Tabla datos de gráfico Pareto

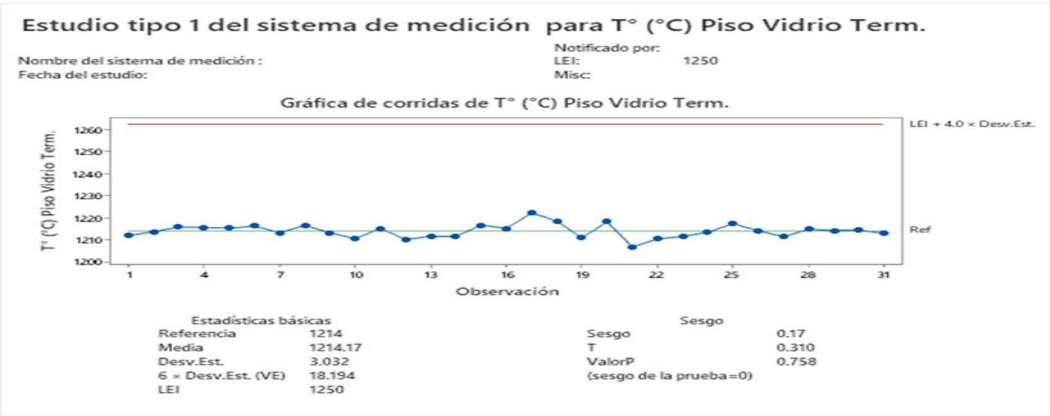
Etiquetas de fila	Suma de Ton defc	Suma de Ton defc2_2
-SWA Cuerpo	1300	22,89%
- SWA Cuello	809	37,13%
-Torcido	465	45,32%
- Ovalado	376	51,95%
- SWA Picada	373	58,52%
-BHA	369	65,02%
-Calcinado boca	292	70,17%
-FTA Def boca	237	74,34%
-Espesor hombro	236	78,50%
-Rebaba boca	211	82,22%
-FTA Bull boca	207	85,87%
-Calcinado gollete	169	88,85%
-Espesor Cuerpo	145	91,40%
-FTAABW boca	122	93,54%
-Calcinado fondo	120	95,65%
-Espesor talon	99	97,39%
-Calcinado hilo	52	98,30%
-Plug - Calibre	49	99,16%
-Calcinado hombro	25	99,59%
- Hermeticidad	23	100,00%
Total general	5679	

Anexo B Prueba de normalidad

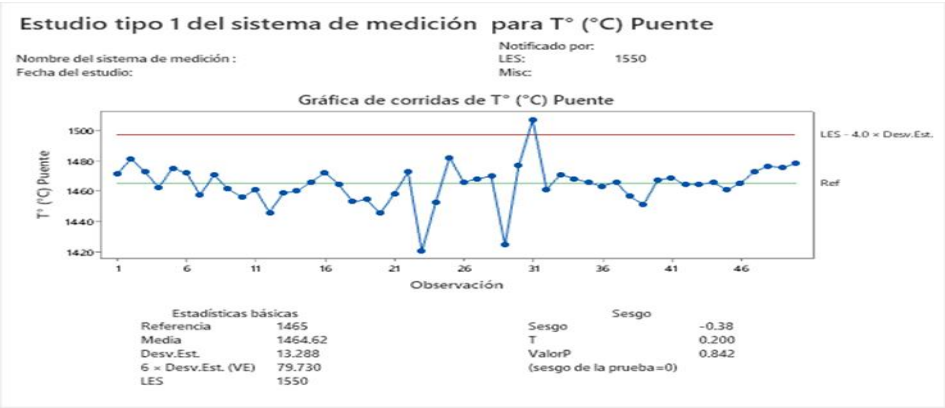


Anexo C Estudio de medición variables de condiciones operacionales

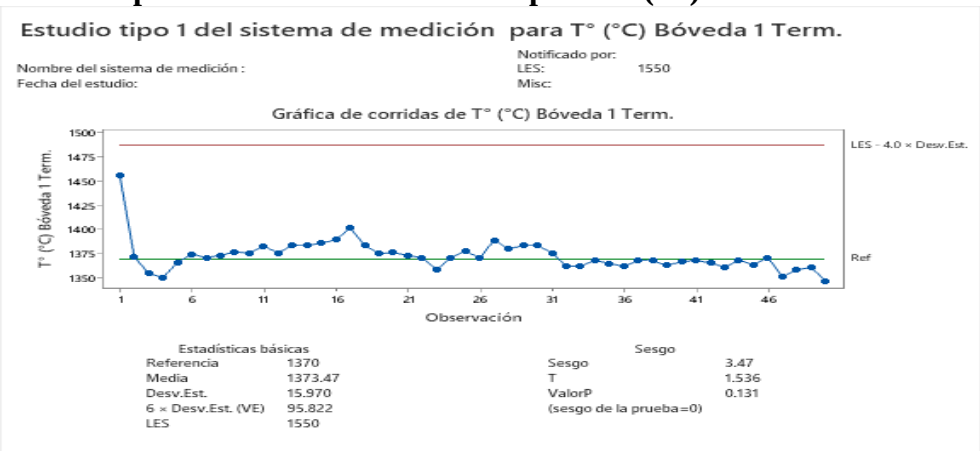
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Piso Vidrio Term.



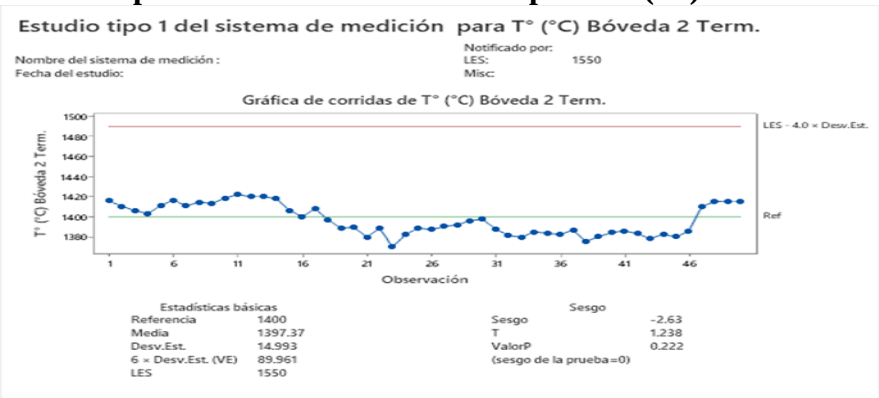
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Puente



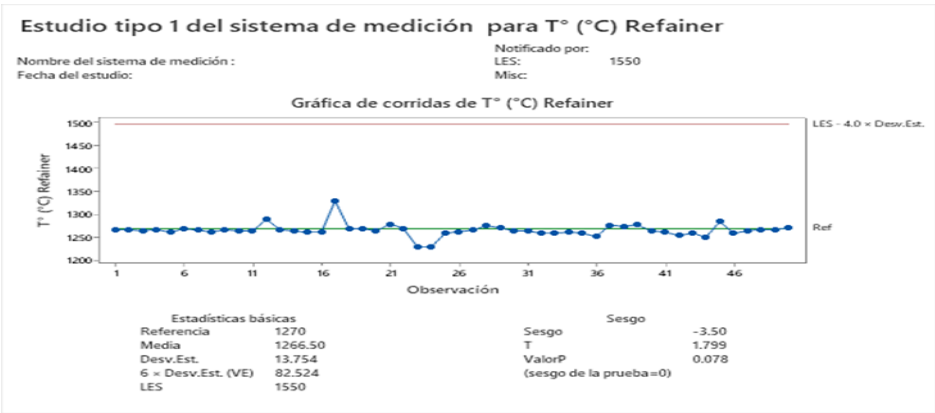
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Bóveda 1 Term.



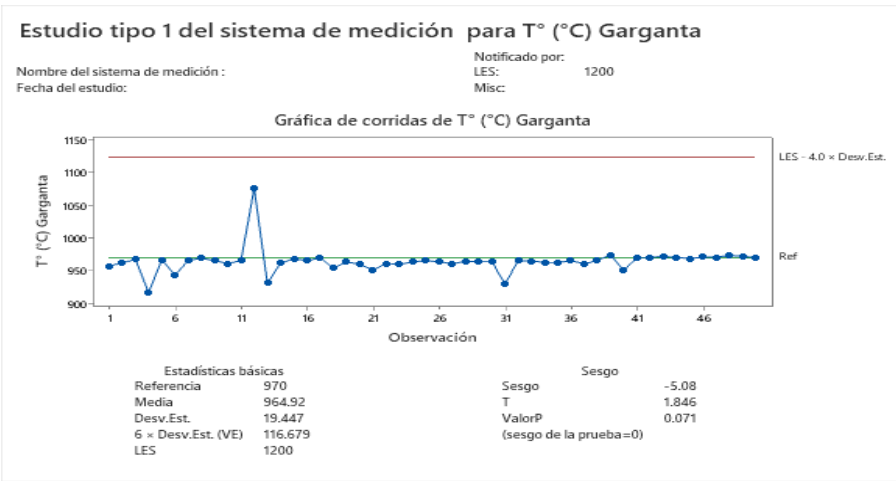
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Bóveda 2 Term.



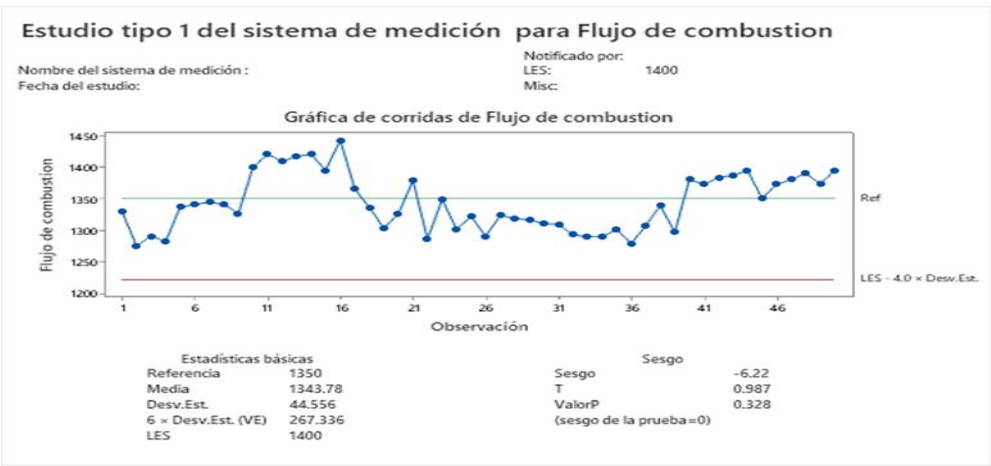
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Refainer



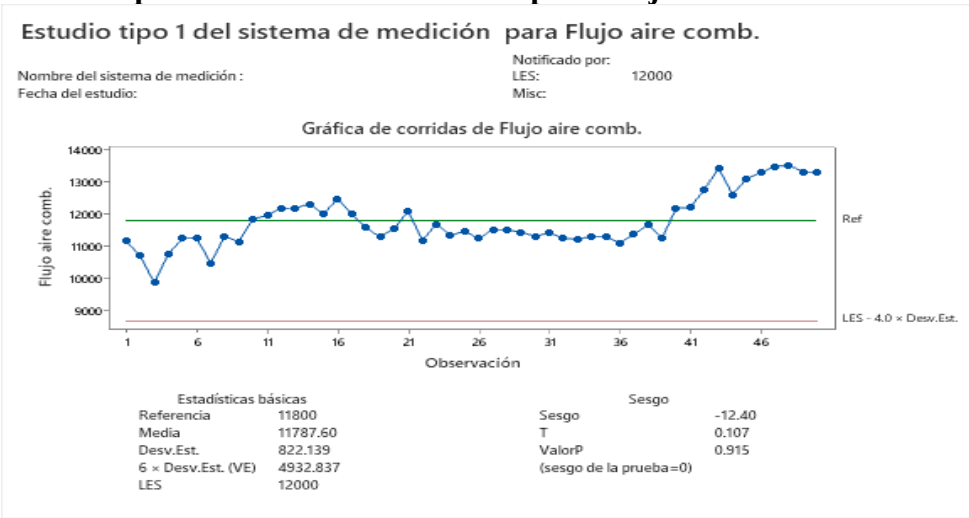
Estudio tipo 1 del sistema de medición para T° (°C) Garganta



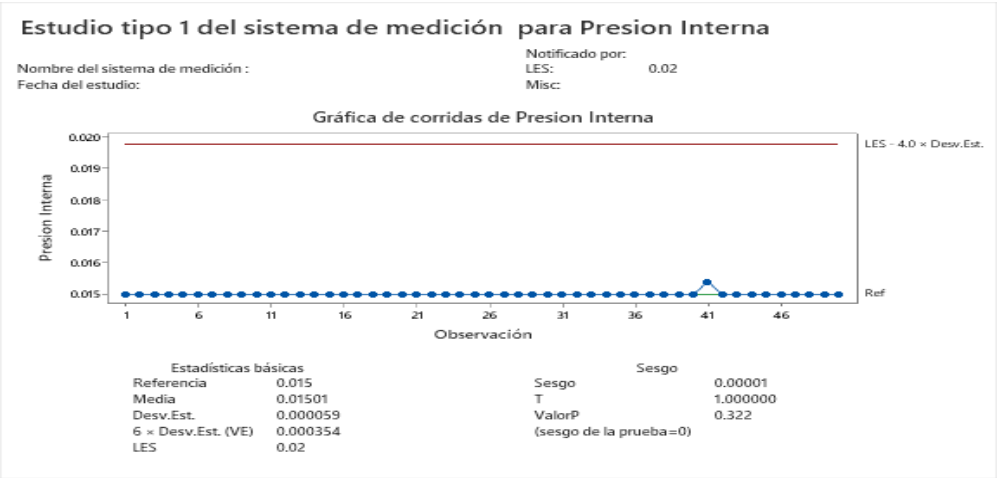
Estudio tipo 1 del sistema de medición para Flujo de combustión



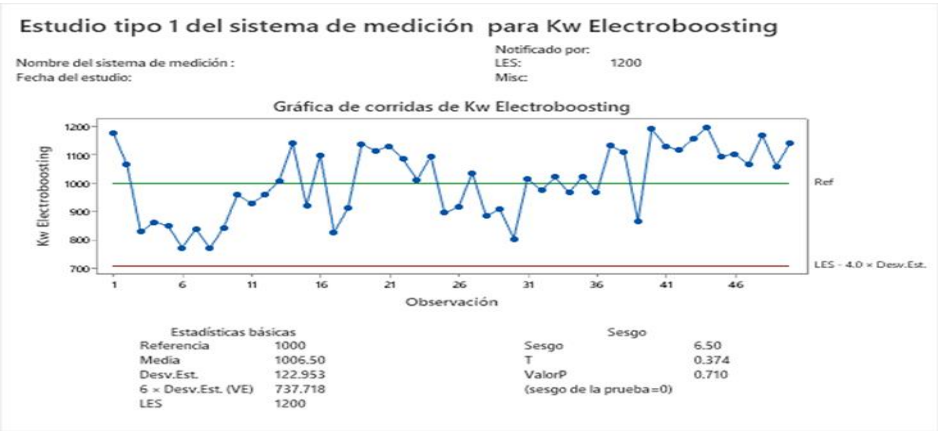
Estudio tipo 1 del sistema de medición para Flujo aire comb.



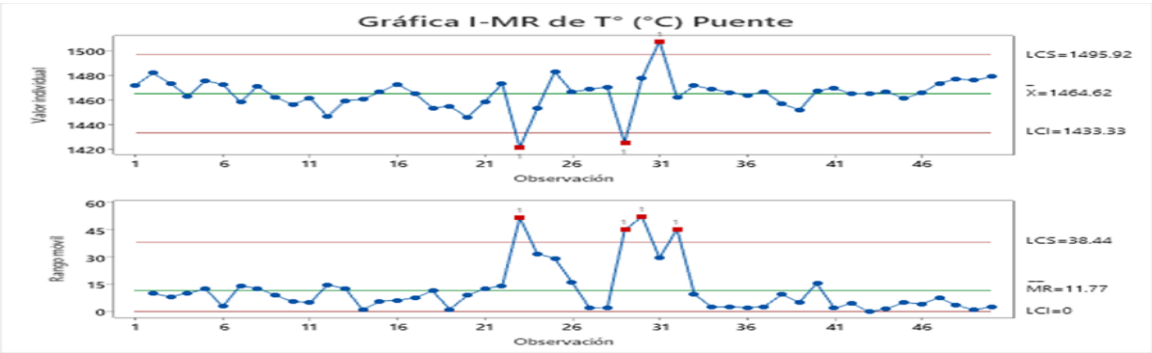
Estudio tipo 1 del sistema de medición para Presion Interna



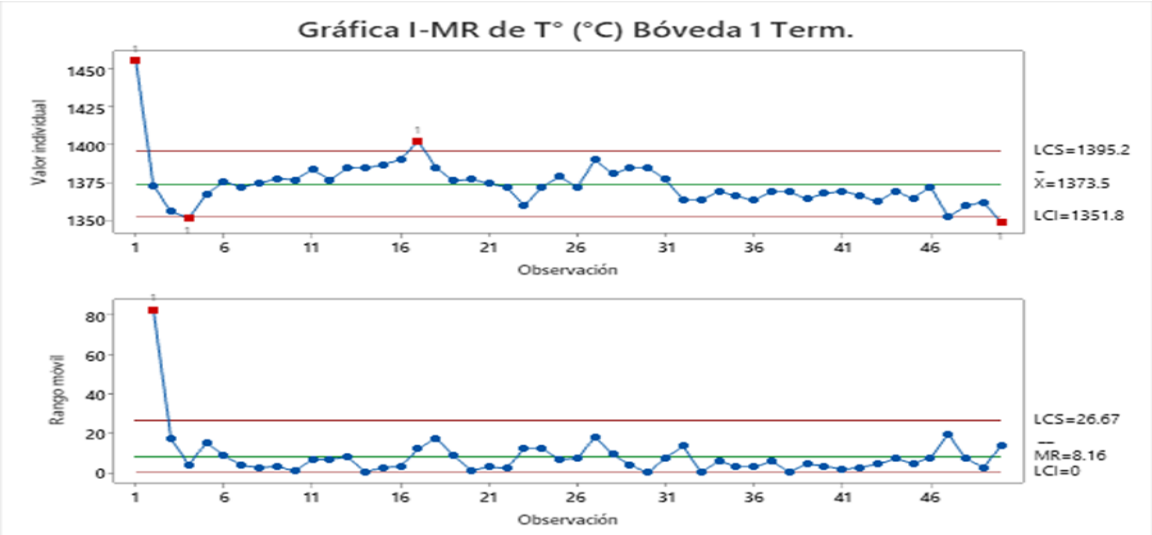
Estudio tipo 1 del sistema de medición para Kw Electroboosting



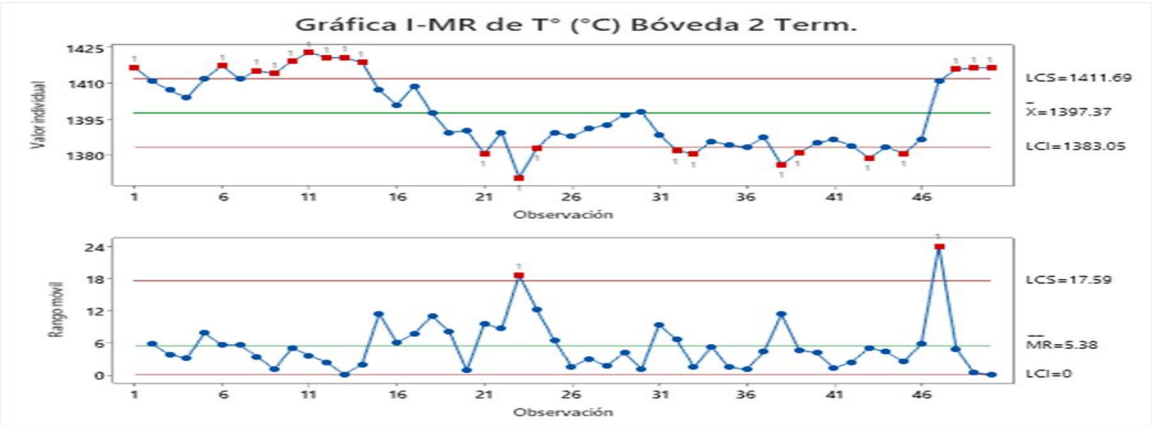
Gráfica I-MR de T° (°C) Puente



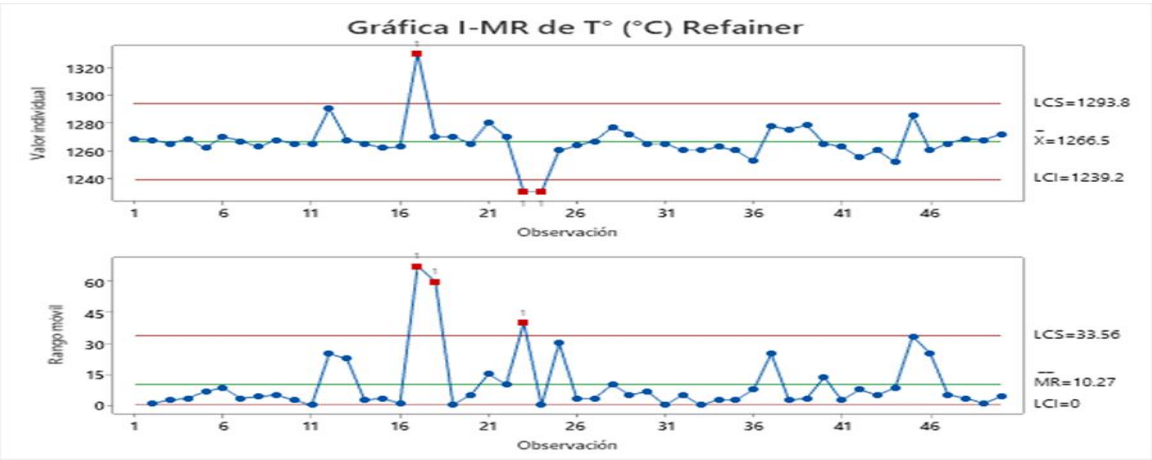
Gráfica I-MR de T° (°C) Bóveda 1 Term.



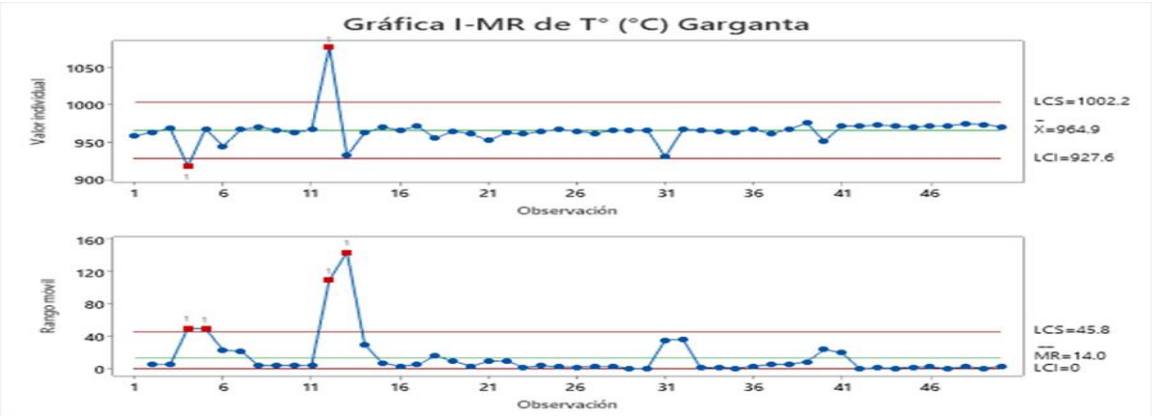
Gráfica I-MR de T° (°C) Bóveda 2 Term.



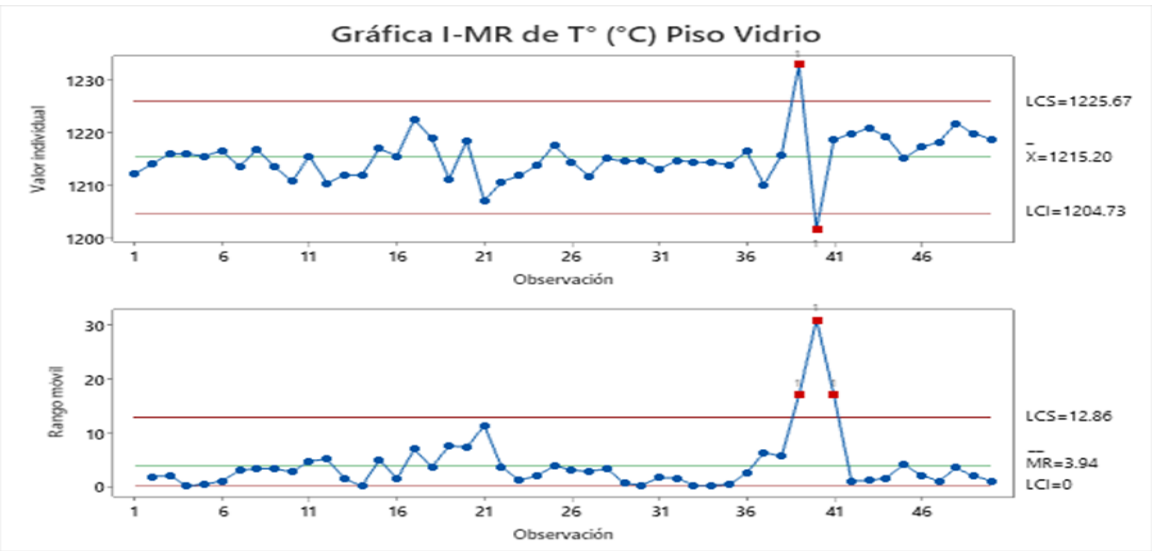
Gráfica I-MR de T° (°C) Refainer



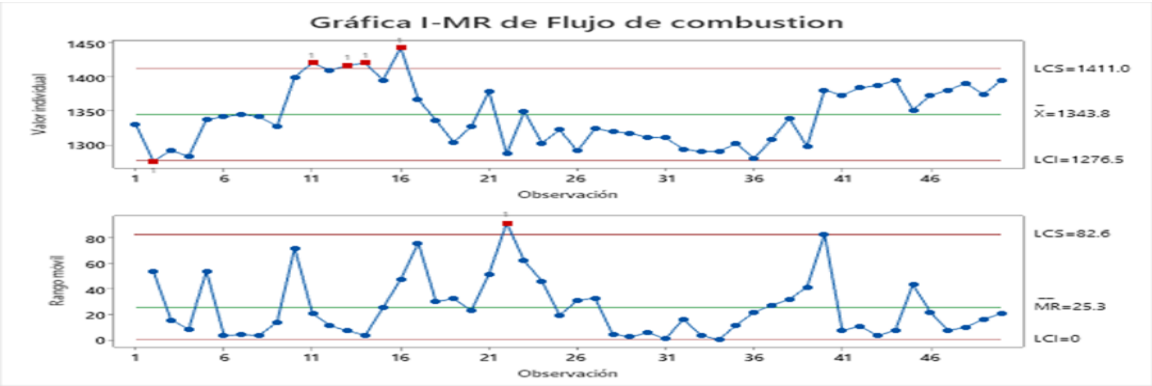
Gráfica I-MR de T° (°C) Garganta



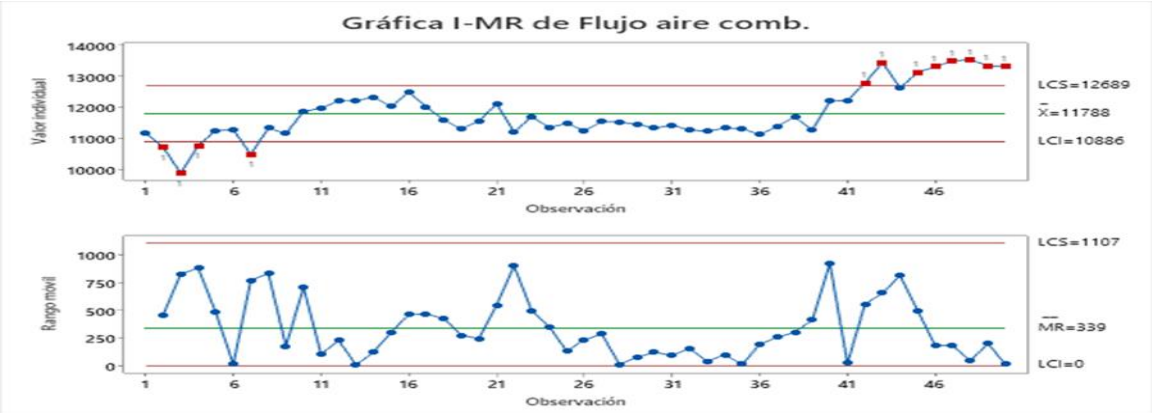
Gráfica I-MR de T° (°C) Piso Vidrio



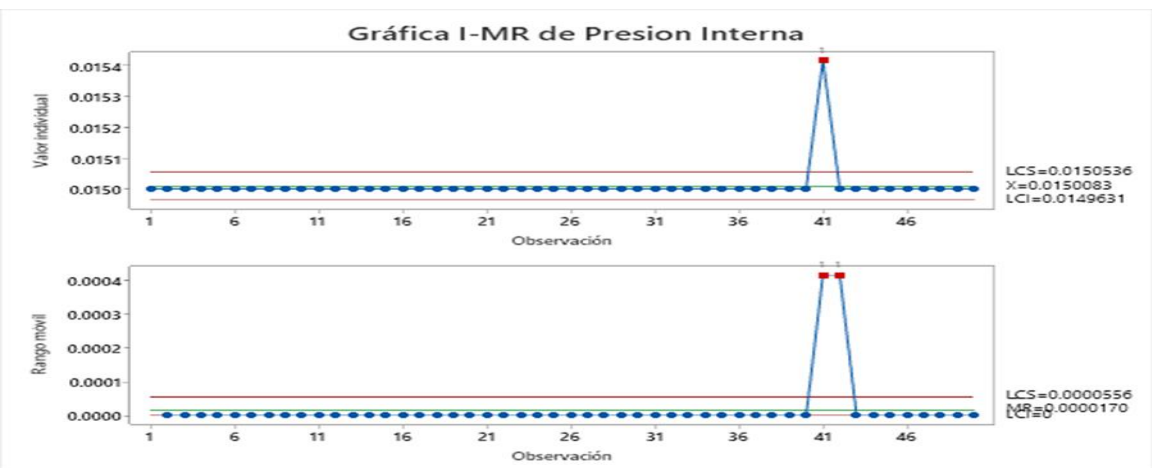
Gráfica I-MR de Flujo de combustión



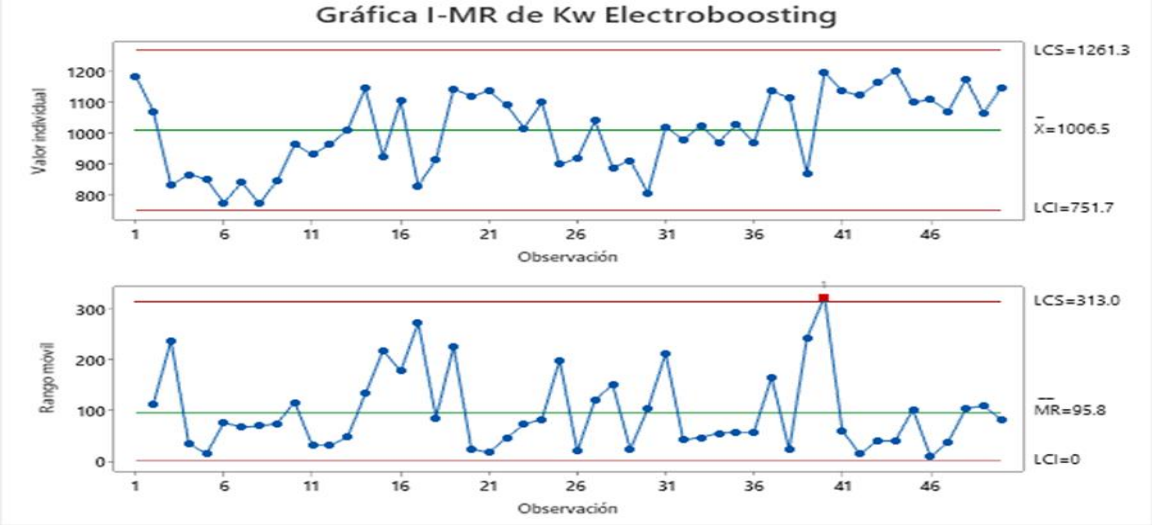
Gráfica I-MR de Flujo aire comb.



Gráfica I-MR de Presion Interna



Gráfica I-MR de Kw Electroboosting



Anexo D Lista de verificación Diagrama de Ishikawa

Causa principal		Analisis de Causa (Cullet)			Observación		Propuesta		
		Posibles Causas							
Materias Primas	Vidrio reciclado contaminado	Falta de control en recepcion de vidrio reciclado	Sin estandar de recepcion de vidrio reciclado	Falta de especificaciones de vidrio reciclado	Sin control interno al momento de la decarga de camiones de vidrio reciclado	Definir las especificaciones para la recepcion del vidrio reciclado	Estandarizar los parametros de calidad para la recepcion del vidrio reciclado	Capacitar es estandar al personal del area involucrado	
	Vidrio interno de retorno	Contaminado	Falta de trazabilidad del vidrio interno de retorno	-	El vidrio de retorno interno no cuanta con acciones correctivas cuando se enuentra contaminado	Definir acciones correctivas para prevenir que ingrese al proceso como materia prima contaminada	Estandarizar las acciones correctivas	Capacitar el estandar al personal del area involucrado	
	Falta de control en proceso de recepcion de vidrio	Falta de personal	Personal de recepcion de materias primas no cubre el sector del vidrio	Capacidad del personal sobrepasada.	No se observa control en los procesos de recepcion de vidrio reciclado y vidrio de retorno interno	Designar lugar de recepcion de vidrio	Incluir personal responsable de la recepcion de vidrio		
Maquinas	Imanes	Sobresaturacion del imanes en lineas de molienda	Falta de inspecciones de imanes	-	Se observan los imanes de control sobresaturados, y sin programa de inspeccion	Crear programa de Inspeccion y limpieza			
		Falta de imanes en la linea del vidrio de retorno interno	Falta de limpieza de imanes	-	-	Sin programa de mantenencias	Crear programa de mantencion preventivo		
	Molino	Contaminación cruzada de vidrio	Falta de reposicion de imanes faltantes	-	No se realiza limpieza de la linea de molienda al cambiar vidrio reciclado	Crear estandar de limpieza o despiche			
		Sin historial de fallas del molino	Procedimiento indica solo operación del molino	Falta de estandar para procesar vidrio reciclado	Reparaciones en caso de falla	Crear bitácora de equipo			
	Chancador	Contaminación cruzada de vidrio	Falta de trazabilidad de mantenencias correctivas	-	No se realiza limpieza de la linea de molienda al cambiar vidrio reciclado	Crear programa de mantención			
		Sin historial de fallas del molino	Procedimiento indica solo operación del molino	Falta de estandar para procesar vidrio reciclado	Reparaciones en caso de falla	Crear bitácora de equipo			
	Harnero	No es capaz de retener contaminantes del vidrio reciclado	Mallas saturadas	No se inspeccionan las mallas del harnero	Harneros se observa saturado y con grietas	Crear programa de mantención			
			Mallas en mal estado	No se realiza cambio de mallas	-	Mantener stock minimo para repuesto de Mallas	Crear plan de inspección y cambio de mallas		
			Mallas de aberturas no adecuadas	Sin disponibilidad de menor diametro	Se observan reciduos de contaminantes de gran tamaño	Incluir mallas con un menor diametro de abertura			
	Método	Proceso de molienda	Falta de control	Proceso no estandrizado según vidrio a procesar	-	No se realiza control de material procesado	Crear plan de control en el proceso de molienda		
Proceso de limpieza de vidrio reciclado		Sin especificaciones de contaminantes del vidrio reciclado	sin estandar de limpieza de vidrio reciclado	-	La limpieza del vidrio reciclado se realiza de forma manual	Crear estandar de limpieza de vidrio reciclado			
Trazabilidad de los procesos		Falta de registros	-	-	No se lleva un registro de los procesos	Capacitar el estandar al personal del area involucrado			
Medición	Control del proceso de recepción	Falta de trazabilidad	Sin registros	-	No se realiza control de material procesado	Crear registro de los procesos involucrados en el procesamiento del vidrio reciclado			
	Variabilidad del vidrio reciclado	Falta de muestreo de camiones	-	-	No se realizan mediciones del vidrio reciclado	Crear plan de control interno para la recepcion del vidrio reciclado			
Medio Ambiente	Condiciones de almacenamiento	Contaminación cruzada	Acopios no definidos	Acopios en mal estado	No se lleva un control de las condiciones vidrio ingresado al proceso	Crear plan de muestreo de camiones de vidrio reciclado.			
	Condiciones de recepción	Sin area de recepción de camiones de vidrio reciclado	-	-	El vidrio reciclado se almacena en lugares con alto riesgo de contaminación cruzada con material refractario	Crear plan de implementación de 5s en patios de acopio			
		Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado	-	-	Camiones descargan sin supervision de personal de la empresa	Implementar area de recepcion de camiones de vidrio reciclado			
Mano de obra	Supervisión de los procesos	Falta de competencias	Perfiles no técnicos	Personal con más de 10 en el cargo	Camiones descargan sin supervision de personal de la empresa	Incluir personal responsable de la recepcion de vidrio			
	Desmotivación	Falta de reconocimiento	-	-	Personal no cuanta con evaluaciones y ni retroalimentación	Crear perfil de cargo para la recepcion de camiones de vidrio reciclado			
	Condiciones laborales	Falta de equipamiento	-	-	No se cuanta con el equipamiento para la recepcion y muestreo de camiones de vidrio reciclado	Actualizar perfil del cargo			
						Capacitar al personal existente con los estandares de recepción de vidrio reciclado	Crear plan evaluacion y reconocimiento del personal		
						Adquirir equipamiento necesario para realizar el mustreo de camiones de vidrio reciclado			

Anexo E Análisis de Fuerza de causa y efecto

Causa principales	Cod	Causas	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C00	Fuerza de causa
Máquina	C01	Falta de limpieza de imanes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina	C02	Falta de inspección de imanes	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Máquina	C03	Falta de reposición de imanes faltantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máquina	C04	Falta de repuestos	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
Máquinas	C05	Falta de trazabilidad de mantenencias	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
Medición	C06	Falta de registro	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Materia Prima	C07	Falta de trazabilidad de vidrio de retorno interno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Método	C08	Falta de estandar para procesar vidrio de retorno interno y vidrio reciclado	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Método	C09	Proceso no estandarizado según vidrio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Máquina	C10	Malla en harnero con aberturas no adecuadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Máquina	C11	No se inspeccionan las mallas del harneero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Maquina	C12	No se cambian las mallas deterioradas a tiempo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Medición	C13	Falta de muestreo de camiones	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Materia Prima	C14	Falta de especificaciones de vidrio reciclado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Método	C15	Sin estandar de limpieza de vidrio reciclado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medio Ambiente	C16	Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Medio Ambiente	C17	Acopios no definidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Medio Ambiente	C18	Acopios en mal estado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Mano de obra	C19	Capacidad del personal sobrepasada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Mano de obra	C20	Falta de reconocimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Mano de obra	C21	Personal con >10 años	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Medio Ambiente	C22	Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3
		Fuerza de efecto	1	1	3	1	0	2	2	1	0	2	0	3	1	2	2	1	2	1	0	0	0	3	8	

Anexo F Costos de implementación

Categoría	Causa / efecto / elemento	Propuesta de mejora	Personas (HH)	Equipos	Infraestructura	Software	Capacitaciones	Insumos	Asesoría	Total
Gestión de procesos	Falta de estandar para procesar vidrio de retorno interno y vidrio reciclado	Levantar el proceso actual	\$ 500.000	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	\$ 4.448.889
		Desarrollar estandar operacionales	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
		Crear procediminetos estandarizados	\$ 500.000	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Capacitar al personal	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500.000	\$ 100.000	\$ -	
	Falta de especificaciones de vidrio reciclado	Investigar y analizar	\$ 222.222	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 200.000	\$ 100.000	\$ -	
		Definir especificaciones	\$ 500.000	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Estandarizar especificaciones de vidrio reciclado	\$ 100.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
		Capacitar al personal involucrado	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500.000	\$ 100.000	\$ -	
Procesos operativos	Sin área de recepción de camiones de vidrio reciclado	Diseño del área de recepción de camiones	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ 200.000	\$ 69.765.556
		Definir infraestructura	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ 200.000	
		Instalar infraestructura (container)	\$ 111.111	\$ 2.000.000	\$ 10.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 200.000	
		Acondicionar infraestructura	\$ 111.111	\$ 50.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500.000	\$ 200.000	
	Falta de muestreo de camiones	Diseñar un sistema de muestreo	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ 200.000	
		Definir muestreo	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ 200.000	
		Implementar sistema de registro	\$ 111.111	\$ 2.000.000	\$ -	\$ 100.000	\$ -	\$ 20.000	\$ 100.000	
		Capacitar al personal	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500.000	\$ 100.000	\$ -	
	Sin personal a cargo de recepcionar los camiones de vidrio reciclado	Diagnóstico	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Definir roles y responsabilidades	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Contratar	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Capacitación	\$ 1.111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 300.000	\$ 100.000	\$ -	
Mantenimiento	Falta de trazabilidad de mantenciones	Evaluar sistemas de trazabilidad para mantenciones	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ 50.000		\$ 20.000	\$ -	\$ 60.893.333
		Implementar sistema de trazabilidad de mantenciones	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ 500.000		\$ 20.000	\$ -	
		Estandarizar flujo de trabajo	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ 50.000		\$ 20.000	\$ -	
		Capacitación	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 300.000	\$ 100.000	\$ -	
	Falta de repuestos	Diseñar un sistema de inventarios	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ 500.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Adquirir repuestos críticos	\$ 750.000	\$ 50.000.000	\$ 5.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
		Implementar prueba piloto de sistema de inventario	\$ 250.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Capacitación	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 300.000	\$ 100.000	\$ -	
	No se cambian las mallas deterioradas a tiempo	Diseñar programa de inspección	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Definir stock mínimo de mallas	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Estandarizar inspeccion y reemplazo de mallas	\$ 111.111	\$ -	\$ -	\$ 50.000	\$ -	\$ 20.000	\$ -	
		Capacitación	\$ 333.333	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 300.000	\$ 100.000	\$ -	