

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del porcentaje de bobinas defectuosas en una empresa
manufacturera de papel industrial

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Jefferson Steeven Vázquez Reyes

Guayaquil – Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a Dios y mis padres, que con su apoyo económico y moral me ayudaron a culminar la ingeniería.

A mis hermanos que fueron mis ejemplos a seguir con su apoyo motivacional para poder ser mejor persona cada día.

A mi novia, que también se titula al mismo tiempo y gracias al apoyo mutuo que nos tuvimos siempre, lo pudimos lograr juntos.

Agradecimiento

Mis sinceros agradecimientos a mi tutora de tesis PhD. María Denise Rodríguez, que con su guía y conocimientos me ayudaron a culminar de manera exitosa esta etapa final de mi vida universitaria.

Declaración Expresa

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jefferson Steeven Vázquez Reyes doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jefferson Steeven Vázquez Reyes

Evaluadores

MSc. María Laura Retamales García

Profesora de Materia

PhD. María Denise Rodríguez Zurita

Tutora de proyecto

Resumen

El presente trabajo muestra la aplicación de la metodología DMAIC en una empresa manufacturera de papel industrial, con el objetivo de reducir el porcentaje de bobinas defectuosa.

Para el desarrollo del proyecto se identificó que existe un elevado porcentaje de bobinas defectuosas, conociendo que en promedio hay 2.51% bobinas defectuosas, lo cual, es considerado por la empresa como elevado, ya que permite un porcentaje de bobinas defectuosas de hasta 1.5%.

Se emplean herramientas específicas para cada etapa de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), se encontró que las bobinas con defectos por humedad eran las de mayor frecuencia en el proceso productivo. Luego, se propusieron soluciones para disminuir la cantidad de bobinas defectuosas por humedad. Se implementó una válvula reguladora de presión, así como checklist e instructivos para el sistema de caldera y mesa de formación.

Luego de la implementación se obtuvo una reducción total del 2.01% de bobinas defectuosas en promedio semanal, lo que permitió un ahorro semanal de \$5.634, una disminución de 16,9 toneladas de CO₂ al ambiente por semana y un incremento en la satisfacción laboral del 14%.

Palabras clave: DMAIC, CO₂, humedad, bobinas de papel.

Abstract

This study shows the application of the DMAIC methodology in an industrial paper manufacturing company, with the objective of reducing the percentage of defective rolls.

For the development of the project it was identified that there is a high percentage of defective rolls, knowing that on average there are 2.51% defective rolls, which is considered by the company as high, since it allows a percentage of defective rolls of up to 1.5%.

Specific tools are used for each stage (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), it was found that the rolls with defects due to humidity were the most frequent in the production process. Then, solutions were proposed to reduce the number of rolls defective due to humidity. A pressure regulating valve was implemented, as well as checklists and instructions for the boiler system and forming table.

After implementation, a total reduction of 2.01% of defective rolls was obtained on a weekly average, resulting in a weekly savings of \$5,634, a reduction of 16.9 tons of CO₂ per week and an increase in job satisfaction of 14%.

Key words: DMAIC, CO₂, humidity, paper rolls.

ÍNDICE GENERAL

Resumen _____	I
Abstract _____	II
Simbología _____	VI
Índice de figuras _____	VII
Índice de tablas _____	IX
Capítulo 1 _____	1
1.1 Introducción _____	2
1.2 Descripción del problema _____	3
1.2.1 Definir _____	3
1.2.2 Alcance _____	3
1.2.3 Voice of customer (VOC) _____	3
1.2.4 Critical to Quality (CTQ) _____	4
1.2.5 Variable de respuesta _____	7
1.3 Justificación del problema _____	7
1.3.1 Planteamiento del problema _____	8
1.4 Objetivos _____	9
1.4.1 Objetivo smart _____	9
1.4.2 Objetivo general _____	10
1.4.3 Objetivos específicos _____	10
1.5 Marco teórico _____	10
Capítulo 2 _____	13

2	<i>Metodología</i>	14
2.1	Medición	14
2.2	Verificación y confiabilidad de datos	16
2.3	Estratificación del problema	25
2.4	Análisis	28
2.4.1	Diagrama de causa – efecto (Ishikawa)	28
2.4.2	Priorización de causas	29
2.4.3	Plan de verificación de causas	32
2.4.4	Verificación de causa	33
2.4.5	Análisis de causa raíz	37
2.5	Generación de soluciones potenciales	38
2.5.1	Priorización de soluciones	38
2.6	Plan de implementación	39
2.7	Implementación de las soluciones	42
2.7.1	Elaboración de checklist/instructivo para limpieza de mesa de formación	42
2.7.2	Implementación de válvula reguladora de vapor	43
2.7.3	Elaboración de instructivo para uso de caldera	44
2.7.4	Mejora del proceso de control de elaboración de pasta	45
	Capítulo 3	46
3	<i>Resultados y Análisis</i>	47
3.1	Plan de control	49
3.2	Análisis de los tres pilares de sostenibilidad	52
3.2.1	Pilar Económico	52
3.2.2	Pilar social	53
3.2.3	Pilar ambiental	54

Capítulo 4	55
Conclusiones	56
Recomendaciones	57
Referencias	58
Apéndice A	60

Simbología

kg	Kilogramo
gr	Gramo
t	Tonelada
°C	Grado Celsius
m	Metro
C	Carbono
O	Oxígeno

Índice de figuras

Figura 1 Sipoc - Gestión De Producción	3
Figura 3 Critica Para La Calidad Y Variable De Salida	7
Figura 4 Porcentaje De Bobinas No Conforme Por Semana	8
Figura 5 Herramienta 32+2h	8
Figura 7 Bobinas De Papel Industrial Registradas	18
<i>Figura 8 Prueba De Normalidad Para Bobinas No Conforme</i>	20
Figura 9 Grafica Box-Cox Bobinas No Conforme	22
Figura 10 Prueba De Normalidad Para Datos Por Transformación Box-Cox	23
Figura 11 Gráfica De Carta De Control Imr	23
Figura 12 Análisis De Capacidad	24
Figura 13 Estratificación Por Tipo De Papel	25
Figura 14 Tipos De Defectos En Papel Industrial Cm	26
Figura 15 Tipo De Defectos En Papel Industrial Tlc	27
Figura 16 Diagrama De Ishikawa De Bobinas Con Problemas De Porcentaje De Humedad	29
Figura 17 Mesa De Formación	33
Figura 18 Zona De Secado	33
Figura 19 Deformación De Rodillo	34
Figura 20 Almacenamiento De Bobinas	35
Figura 21 Diagrama De Caja - Diferencia De Medias	36
Figura 22 Generación De Soluciones Potenciales	38
Figura 23 Matriz Impacto-Esfuerzo	39
Figura 24 Instructivo De Limpieza De Mesa De Formación	42
Figura 25 Checklist De Limpieza Para Mesa De Formación	43
Figura 26 Implementación De Válvula De Vapor	44

Figura 27	Instructivo De Caldera	44
Figura 28	Instructivo De Caldera	44
Figura 29	Formato De Checklist Para Revisión De Dosificación De Químicos	45
Figura 30	Serie De Tiempo Del Porcentaje De Bobinas Defectuosas	47
Figura 31	Gráfica De Cajas Diferencia De Medias	47
Figura 32	Carta De Control De Antes De La Mejora	48
Figura 33	Carta De Control Después De La Mejora	48
Figura 34	Porcentaje De Bobinas Defectuosas Antes Vs Actual	49
Figura 35	Gráfico De Reducción De Pérdida De Dinero	52
Figura 36	Calificación De Encuesta De Satisfacción Laboral	53
Figura 37	Comparación De Satisfacción Laboral Antes Vs Después	53
Figura 38	Kg Co2 Emitidos Al Ambiente Antes Vs Actual	54

Índice de tablas

Tabla 1 Agrupación De Necesidades Por Afinidad.....	5
Tabla 2 Calificación De Partes Interesadas	6
Tabla 3 Datos Para Calcular Objetivo Smart	9
Tabla 4 Porcentaje De Reducción Gap	10
Tabla 5 Plan De Recolección De Datos.....	15
Tabla 6 Recolección De Bobinas Para Verificación De Confiabilidad	16
Tabla 7 Registro De Bobinas Producidas En 5 Días Laborables	17
Tabla 8 Bobinas No Conforme Producidas Por Semana	19
Tabla 9 Bobinas No Conforme Con Transformación Box-Cox	21
Tabla 10 Clasificación Del Cp Por Categoría Del Proceso	24
Tabla 11 Defectos Con Mayor Impacto En Papel Industrial Cm.....	26
Tabla 12 Defectos Con Mayor Impacto En El Papel Industrial Tlc	27
Tabla 13 Ponderación Por Nivel De Impacto	30
Tabla 14 Matriz De Priorización De Causas	31
Tabla 15 Plan De Verificación De Causas	32
Tabla 16 Paradas Por Caldero	35
Tabla 17 Prueba De Humedad	36
Tabla 18 Análisis De Causas 5 Por Qué.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Tabla 19 Análisis De Causas 5 Por Qué.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Tabla 20 Análisis De Causas 5 Por Qué.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Tabla 21 Plan De Implementación.....	40
Tabla 22 Plan De Implementación.....	41
Tabla 23 Plan De Control	50

Tabla 24 Plan De Control	51
Tabla 25 Tabla Comparativa Antes Vs Después Pilar Económico.....	52
Tabla 26 Kg De Co2 Emitidos Al Ambiente	54

Capítulo 1

1.1 Introducción

La elaboración de pasta de papel y productos derivados ha tenido lugar como una de las industrias de categoría mundial, con gran importancia para el desarrollo de la civilización; países como Estados Unidos, Canadá, China, se posicionan entre los más grandes de esta industria, ya que fueron uno de los primeros países en proveer este recurso tan necesario en la sociedad. De igual forma, se debe tener en cuenta que la materia prima para elaborar papel son los árboles, y a medida que la industria se ha expandido, de igual forma se ha dado paso a consumir en mayor medida este recurso vital para la vida, es por esta razón que en las últimas décadas se ha promovido el desarrollo de una conciencia ecológica a nivel industrial, buscando formas sustentables e innovando procedimientos para reducir el impacto hacia el medio ambiente.

En Ecuador, ciudad de Guayaquil, encontramos una empresa manufacturera de papel industrial, que desde sus inicios en el mes de abril del año 2000, ha elaborado bobinas de papel industrial para satisfacer la demanda del mercado nacional. Para la elaboración de las bobinas de papel industrial, se utiliza como materia prima pacas de cartón reciclado de 2 tipos, el primer tipo es el double Kraft liner(DKL) contiene recortes de cartón que provienen generalmente de empresas manufactureras de cartón, también es conocido como fibra virgen, por otro lado el segundo tipo de cartón es el Old corrugated container(OCC), es cartón que proviene de empresas recicladoras de papel, es un desperdicio sucio ya que se puede llegar a encontrar plástico, tierra o metales. El peso de las pacas de cartón de materia prima oscila desde 400 kg hasta 600 kg aproximadamente. La línea de producción del molino tiene la capacidad para elaborar 3 tipos de papel industrial corrugado medio (CM), Test Liner C(TLC) y Test Liner(TL), estos diferentes tipos de papel industrial se utilizan para la elaboración de planchas de cartón, cajas y productos derivados del mismo.

1.2 Descripción del problema

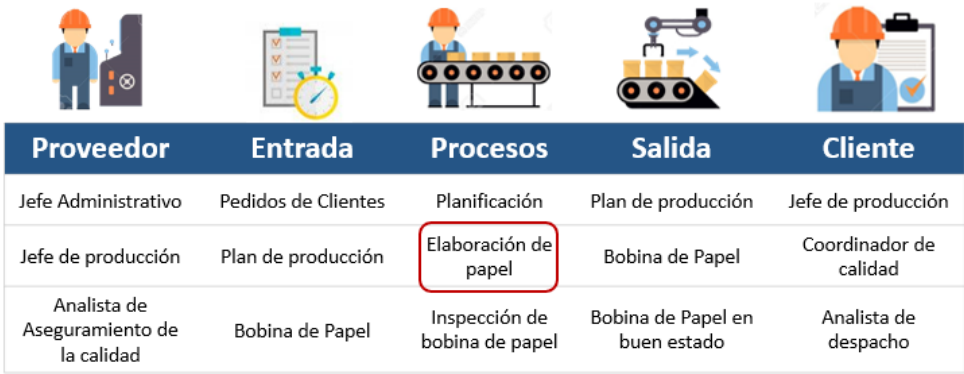
1.2.1 Definir

El proyecto es realizado en una empresa manufacturera de papel industrial ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil - Ecuador, la empresa tiene una línea de producción (Molino) y elabora 3 tipos de papel industrial, los cuales deben cumplir con parámetros de calidad como %Humedad, variación de peso, resistencia, para ser consideradas producto conforme y posteriormente ser despachadas hacia el cliente final.

1.2.2 Alcance

En el SIPOC podemos observar los procesos del departamento de gestión de producción, del cual nos enfocaremos en la elaboración de papel, de este modo tenemos como proveedor al jefe de producción y como cliente al coordinador de calidad, tal como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1
SIPOC - Gestión de producción



Proveedor	Entrada	Procesos	Salida	Cliente
Jefe Administrativo	Pedidos de Clientes	Planificación	Plan de producción	Jefe de producción
Jefe de producción	Plan de producción	Elaboración de papel	Bobina de Papel	Coordinador de calidad
Analista de Aseguramiento de la calidad	Bobina de Papel	Inspección de bobina de papel	Bobina de Papel en buen estado	Analista de despacho

1.2.3 Voice of customer (VOC)

En conjunto con el jefe de producción, Coordinador de calidad y jefe de mantenimiento, se encontraron oportunidades de mejora para la elaboración de bobinas de papel industrial, la información se recolectó por medio de entrevistas.

Se muestra la lista de necesidades recolectadas:

- Incrementar el flujo de información entre los departamentos.

- Realizar mantenimiento preventivo/correctivo cuando se requiera
- Renovar los equipos viejos de la línea de producción.
- Renovar el sistema de vapor
- Conceder acceso al departamento de mantenimiento al “sistema Fénix”.
- Implementar procedimiento más eficiente para el abastecimiento de materia prima al Hidropulper.
- Tener mayor control en la primera parte del proceso, donde se forma la Pasta.
- Tener mayor comunicación entre calidad y producción por temas de velocidad y dosificación de químicos.
- Mitigar las problemáticas que causan productos defectuosos
- Disminuir los reclamos de clientes por inconformidad en el producto.
- Reducir la cantidad de bobinas retenidas por no conformidad
- Diseño de infraestructura cerrada para el almacén de Producto terminado.
- Implementar sistema de ventilación en la planta.
- Abarcar más mercado nacional e internacional.
- Implementar certificación ISO 9001:2015, ISO 14000 y Carbono neutro.
- Incrementar el tonelaje de bobinas producidas en la línea de producción.
- Reducir costos de producción.

1.2.4 Critical to Quality (CTQ)

Para la obtención de las variables críticas, se agruparon las necesidades recolectadas por afinidad, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1
Agrupación de necesidades por afinidad

NECESIDADES	REQUERIMIENTO
- Incrementar el flujo de información entre los departamentos.	Capacitación de
- Tener mayor comunicación entre calidad y producción por temas de velocidad y dosificación de químicos.	habilidades competitivas
- Acceder al “sistema Fénix” desde el departamento de mantenimiento.	Permitir accesos al sistema
- Renovar los equipos viejos de la línea de producción.	Mejora de las condiciones en las máquinas
- Renovar el sistema de vapor	Mejora de tiempo de respuesta de mantenimiento
Realizar mantenimiento preventivo/correctivo cuando se requiera	
- Abarcar más mercado nacional e internacional.	Alternativas de negocios
- Implementar certificación ISO 9001:2015, ISO 14000 y certificación “Carbono neutro”.	
- Mejorar procedimiento de control para el abastecimiento de materia prima al Hidropulper.	
- Tener mayor control en cada una de las partes del proceso donde se forma la Pasta.	
- Mitigar las problemáticas que causan productos defectuosos.	Mejora de Procesos Productivos
- Disminuir los reclamos de clientes por inconformidad en el producto.	
- Reducir la cantidad de bobinas retenidas por no conformidad	
- Incrementar el tonelaje de bobinas producidas en la línea de producción.	
- Reducir costos de producción.	
- Implementar sistema de ventilación en la planta	Sistema de ventilación
	Diseño e
- Diseño de infraestructura cerrada para el almacén de Producto terminado	infraestructura de bodega de almacenamiento

Luego, los requerimientos son calificados por las partes interesadas, para conocer las necesidades que consideran de mayor importancia, siendo el valor de 1 como menos importante y 5 como más importante, tal como se muestra en la figura 2.

Tabla 2
Calificación de partes interesadas

Requerimientos	Planificador	Coordinador de calidad	Jefe de producción	Promedio (Entero Mayor)
Capacitación de habilidades competitivas	3	3	4	3
Permitir accesos al sistema	3	2	2	2
Mejora de las condiciones en las máquinas	4	5	5	5
Mejora del tiempo de respuesta de mantenimiento	4	4	5	4
Alternativas de negocios	5	4	4	4
Mejora de Procesos Productivos	4	5	5	5
Sistema de ventilación	1	2	2	2
Diseño e infraestructura de bodega de almacenamiento	2	2	1	2

Los requerimientos con la puntuación de 5 (más importante) son:





- Mejora de las condiciones de las máquinas
- Mejora de procesos productivos

Para fines de la carrera industrial, nos enfocaremos en el requerimiento “Mejora de procesos productivos”. Por lo tanto, los drivers que serán medidos en el CTQ son: Mejorar

procedimientos de control en el proceso productivo, reducción de pérdida de dinero por bobinas defectuosas, reducción del impacto ambiental por disminución de producto defectuoso, aumento de la satisfacción del cliente.

Luego de definir los drivers medir, se determina las variables de salida asociadas a cada driver, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2
Critica para la calidad y variable de salida

Necesidad del Cliente	Driver	CTQ'S
Mejora de Procesos Productivos	 Mejorar procedimientos de control en el proceso productivo	%Reducción de bobinas defectuosas $= \frac{\text{Total producto defectuoso (TON)}}{\text{Total producido(TON)}} \times 100$
	 Reducción de pérdida de dinero por Bobinas defectuosas	Producto defectuoso (\$) $= \text{Producto Defectuoso(Ton)} \times \text{ProductoDefectuoso}\left(\frac{\$}{\text{ton}}\right)$
	 Reducción del impacto ambiental por disminución de producto defectuoso	CO₂ Producido(Kg) $= \text{Peso de Producto Defectuoso(Kg)} * 1,8 \text{ Kg CO}_2$
	 Aumento de la satisfacción del cliente	%Satisfacción = $\frac{\text{Pregunta1} + \text{Pregunta2} + \text{Pregunta3} + \text{Pregunta4}}{\#Preguntas \times 5} \times 100$

1.2.5 Variable de respuesta

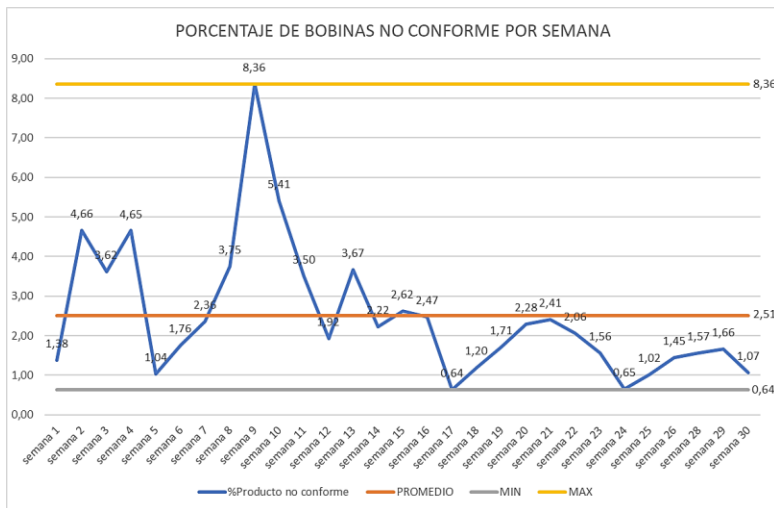
Se define la variable de respuesta como “Porcentaje de reducción de bobinas defectuosas”, y se mide por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Reducción de bobinas defectuosas} = \frac{\text{Total producto defectuoso (TON)}}{\text{Total producido(TON)}} \times 100$$

1.3 Justificación del problema

Se conoce que, según datos históricos, la empresa presenta problemas altos porcentajes de bobinas no conforme, teniendo en promedio semanal 2.51% de bobinas no conforme (figura 4)

Figura 3
Porcentaje de bobinas no conforme por semana

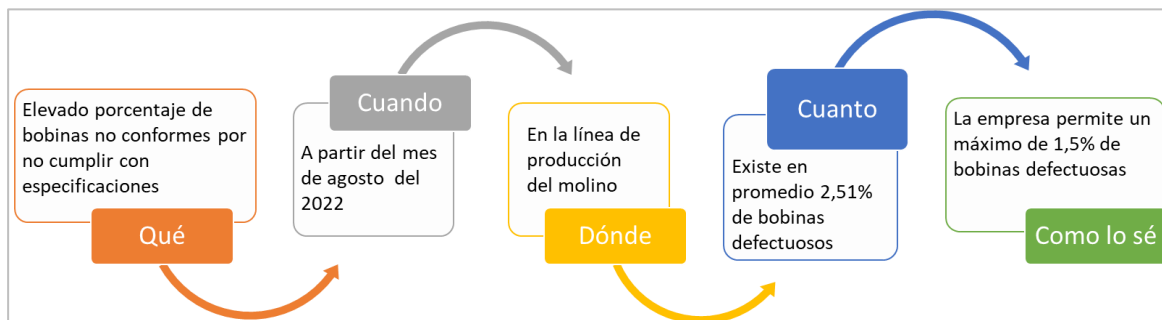


El proyecto se enfocará en proponer mejoras para reducir el porcentaje de bobinas defectuosas, teniendo en cuenta el alcance y las restricciones por parte de la empresa.

1.3.1 Planteamiento del problema

Para definir el problema, se utiliza la herramienta 3W + 2H, tal como se muestra en la figura 5.

Figura 4
Herramienta 3W+2H



Se deja el problema definido de la siguiente forma:

“En la línea de producción del molino, existe un elevado porcentaje de bobinas no conformes, a partir de Agosto/2022, conociendo que en promedio se tiene un 2,51% de bobinas defectuosas, cuando la empresa permite un máximo de 1,5% de bobinas defectuosas”

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo smart*

El objetivo Smart por su acrónimo debe ser: específico, medible, alcanzable realista y en un periodo de tiempo establecido. Así tenemos definido el Objetivo Smart a continuación: “Reducir el porcentaje de bobinas defectuosas en un 40% del GAP, reduciendo del 2,51% al 2,11%, desde el mes de junio hasta septiembre”.

A continuación, se presentan los datos (Tabla 2) y cálculos necesarios para establecer el objetivo Smart.

Tabla 3
Datos para calcular objetivo smart

DATOS	
Promedio	2.51%
Benchmark	1.5%

Cálculo del GAP:

$$GAP = Promedio - Benchmark$$

$$GAP = 2,51\% - 1,5\%$$

$$GAP = 1,01\%$$

Una vez calculado el GAP, procedemos a plantear el porcentaje de reducción del GAP que se va a llevar a cabo para el proyecto, siendo este el 40% del GAP, por decisión en conjunto con la empresa, tal como se muestra en la figura 6.

Tabla 4
Porcentaje de reducción GAP

% GAP Reducción	40%	50%	60%
Promedio	2,51%	2,51%	2,51%
GAP	1,01%	1,01%	1,01%
Objetivo de reducción	2,11%	2,01%	1,90%

Cálculo del objetivo de reducción:

$$\text{Objetivo de reducción} = \text{Promedio} - (\% \text{ GAP Reducción} \times \text{GAP})$$

$$\text{Objetivo de reducción} = 2,51 \% - (40\% \times 1,01 \%)$$

$$\text{Objetivo de reducción} = 2,11\%$$

1.4.2 Objetivo general

Reducir el porcentaje de bobinas defectuosas en un 40% del GAP, reduciendo del 2,51% al 2,11%, desde el mes de junio hasta septiembre.

1.4.3 Objetivos específicos

- Analizar y evaluar las diferentes etapas del proceso productivo.
- Determinar las causas de los productos defectuosos para identificar cuales necesitan mayor atención
- Implementar soluciones que ayuden a reducir el porcentaje de bobinas defectuosas
- Evaluar el impacto de las soluciones implementadas

1.5 Marco teórico

DMAIC

La metodología DMAIC permite identificar problemas para proponer soluciones acertadas, se enfoca principalmente en la mejora de los procesos reduciendo la variabilidad, sus

diferentes fases son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (Ríos, Sánchez, & González, 2016).

VOC

Por sus siglas en inglés Voice Of Customer, en su traducción al español “la voz del cliente” es una herramienta que permite obtener las necesidades de los clientes de forma directa, para luego ser transformadas en requerimientos que se pueden medir y mejorar (Cruz, Mar, Pérez, Ortiz, & Lince, 2014).

Diagrama de pareto

Es una gráfica que nos permite visualizar el 20% de mis elementos que ocasionan por lo general el 80% de mi problema, clasificando los elementos de menor a mayor porcentaje por medio de barras. Se utiliza cuando se conocen las posibles causas que afectan a un problema en específico, permitiendo enfocarse en causas que impactan en mayor proporción al problema (Sales, 2013).

Diagrama de sipoc

El diagrama de SIPOC es una herramienta que permite visualizar un proceso de forma simple, mostrando el proveedor, entrada, procesos, salida y cliente. Sus siglas en inglés son: Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customers (Vigilio & Loyola, 2018).

Gráfica de control

La gráfica de control nos ayuda a visualizar los datos a través de una serie de tiempo, permitiendo observar el comportamiento de los datos. Se considera en control cuando los datos permanecen dentro de los límites establecidos, cuando un dato se encuentra fuera de los límites, es una señal de que no está en control, y requiere acciones para eliminar la causa que lo provoca. Se considera una herramienta clave para reducir la variabilidad de un proceso (López, 2022).

Diagrama Ishikawa

Es una herramienta de calidad que sirve para identificar las causas de un problema desde diferentes enfoques, así mismo ayuda a conocer posibles causas raíz. El diagrama de Ishikawa

está compuesto de 6M: Materia prima, maquinaria, metodología, medición, mano de obra y medio ambiente (Burgasí, Cobo, Pérez, Pilacuan, & Rocha, 2021).

Herramienta 5W+2H

Es una herramienta de análisis que permite establecer un problema respondiendo las siguientes preguntas: qué, quién, cómo, cuando, donde, cuanto y que tanto, de esta forma se obtiene información necesaria para plantear un problema a resolver (Coletti, Miranda, & Iwakiri, 2010).

Capítulo 2

2 Metodología

En la elaboración del proyecto, se ha hecho uso de la metodología DMAIC, la cual identifica un problema dentro de la empresa, y mediante el uso de herramientas se proponen soluciones que disminuya o elimine el problema.

2.1 Medición

Previo al análisis, se realizó un plan de recolección de datos para conocer cómo se van a recopilar todos los datos que afectan a nuestra variable respuesta, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 5
Plan de recolección de datos

¿Qué?	Unidades	Tipo de dato	¿Dónde se recolectará?	¿Cuándo se recolectará?	Método de recolección	¿Dónde se registra?	¿Quién registra?	¿Por qué se registra?
Producto terminado	Numérico	Cuantitativo	Departamento de calidad	Desde el 29/05/2023	Datos históricos	Formato de control de producto terminado	Coordinador de calidad	Permitirá cuantificar la cantidad de productos elaborados en un periodo de tiempo
Productos defectuosos	Numérico	Cuantitativo	Departamento de calidad	Desde el 29/05/2023	Datos históricos	Formato de control de producto terminado	Coordinador de calidad	Permitirá cuantificar la cantidad de productos defectuosos en un periodo de tiempo
	-	Cualitativo	Planta	Desde el 29/05/2023	Datos históricos	Formato de control de producto terminado	Coordinador de calidad	Permitirá cuantificar el peso (ton) de productos defectuosos en un periodo de tiempo
Frecuencia de inspección de calidad	Numérico	Cuantitativo	Planta	Desde el 15/06/2023	Gemba	Formato de propiedades fisicoquímicas	Operadores - Analista de calidad	Conocer el motivo del producto defectuoso para determinar factores críticos que afectan a mi variable (Y)
Paradas de máquinas	-	Cualitativo	Taller de mantenimiento	Desde el 12/06/2023	Datos históricos	-	Jefe de mantenimiento	Ayuda a conocer el control que se tiene del producto en su elaboración
								Ayudará a conocer los motivos de las paradas de máquina que afecten la calidad del producto

2.2 Verificación y confiabilidad de datos

Para verificar los datos se utilizó la observación directa por medio de GEMBA, adicional a eso, se usaron herramientas estadísticas para verificar la confiabilidad de los datos.

El periodo para analizar los datos fue de 5 días laborables, se registraron todas las bobinas que salían de la línea de producción desde las 7 am hasta las 3 pm. Se recolectaron 39 bobinas de papel industrial, las cuales fueron clasificadas por atributo: Conforme ó No conforme. Tal como se muestra en la tabla 3 y tabla 4.

Tabla 6

Recolección de bobinas para verificación de confiabilidad

	Cantidad total de bobinas producidas	cantidad de bobinas conformes	%	cantidad de bobinas no conformes	%
Registro departamento calidad	39	38	97,4%	1	2,6%
Registro líder de proyecto	39	38	97,4%	1	2,6%

En la tabla 5 se creó un formato en el cual se registra el código único para cada bobina de papel producida, también conocida como “reel”, el analista de calidad cataloga las bobinas en 2 categorías, “Conforme” y “No conforme”, este criterio se lo realizó para cada bobina producida dentro de los 5 días laborables, de igual forma el Líder del proyecto registró el “reel” de cada bobina y para catalogar la bobina como “conforme” o “No conforme” se dio seguimiento a las pruebas de calidad hecha para cada bobina.

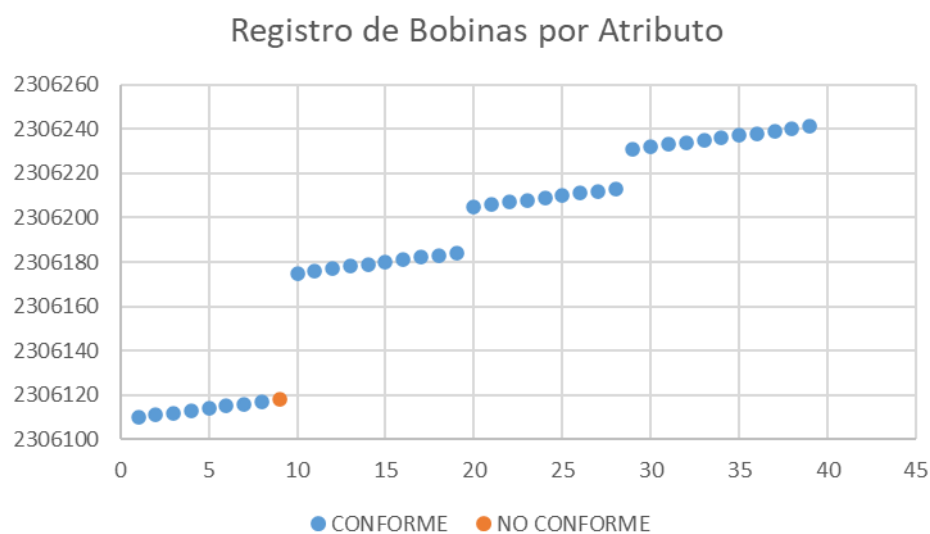
Tabla 7
Registro de Bobinas producidas en 5 días laborables

Nº	REEL	REGISTRO CALIDAD		LIDER DEL PROYECTO	
		CONFORME	NO CONFORME	CONFORME	NO CONFORME
1	2306110	x		x	
2	2306111	x		x	
3	2306112	x		x	
4	2306113	x		x	
5	2306114	x		x	
6	2306115	x		x	
7	2306116	x		x	
8	2306117	x		x	
9	2306118		x		x
10	2306175	x		x	
11	2306176	x		x	
12	2306177	x		x	
13	2306178	x		x	
14	2306179	x		x	
15	2306180	x		x	
16	2306181	x		x	
17	2306182	x		x	
18	2306183	x		x	
19	2306184	x		x	
20	2306205	x		x	
21	2306206	x		x	
22	2306207	x		x	
23	2306208	x		x	
24	2306209	x		x	
25	2306210	x		x	
26	2306211	x		x	
27	2306212	x		x	
28	2306213	x		x	

29	2306231	x	x
30	2306232	x	x
31	2306233	x	x
32	2306234	x	x
33	2306235	x	x
34	2306236	x	x
35	2306237	x	x
36	2306238	x	x
37	2306239	x	x
38	2306240	x	x
39	2306241	x	x

De esta forma se evidenció que la cantidad de bobinas conformes y no conformes que registró el departamento de calidad es igual a las registradas por el líder del proyecto, tal como se muestra en la figura 7, por lo consiguiente, se verificó que la similitud de los datos recolectados es del 100%, es decir, los datos son confiables para realizar análisis posteriores.

Figura 5
Bobinas de papel industrial registradas



Una vez verificado que los datos son confiables, se procedió a realizar una prueba de normalidad a la data histórica, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 8
Bobinas no conforme producidas por semana

Semanas (Nº)	TOTAL TONELADAS PRODUCIDAS (NO CONFORME)
semana 1	5,13
semana 2	11,22
semana 3	14,45
semana 4	19,88
semana 5	3,04
semana 6	8,64
semana 7	5,78
semana 8	17,11
semana 9	38,26
semana 10	18,15
semana 11	10,86
semana 12	7,95
semana 13	16,67
semana 14	8,10
semana 15	12,29
semana 16	11,22
semana 17	2,94
semana 18	4,83
semana 19	8,68
semana 20	2,97
semana 21	11,45
semana 22	11,64
semana 23	8,86
semana 24	2,91
semana 25	5,43
semana 26	8,42
semana 28	8,23
semana 29	8,49
semana 30	4,64

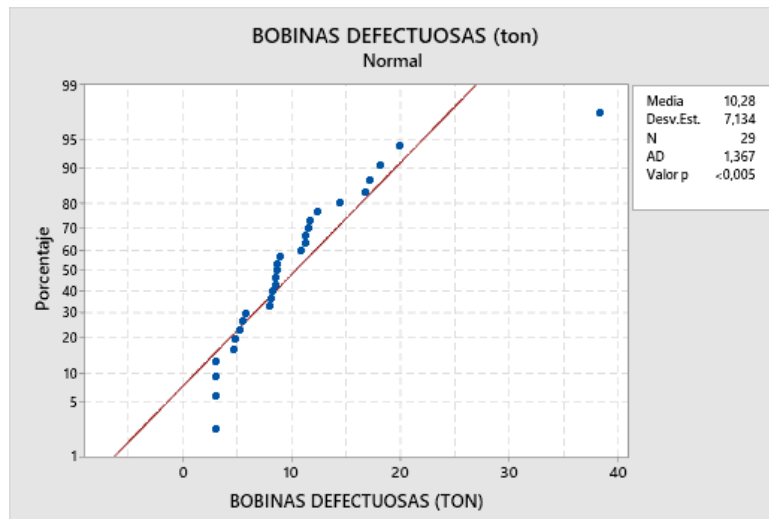
Se establecieron las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos presentan una distribución normal

Hi: Los datos no presentan una distribución normal

Se utilizó la herramienta de *minitab* para realizar el análisis, y se obtuvo la siguiente gráfica de los datos, tal como se muestra en la figura 8.

Figura 6
Prueba de normalidad para bobinas no conforme



Dando como resultado el valor P menor a 0.005, por lo tanto, se rechazó Ho, y se aceptó Hi, es decir, los datos NO presentaron una distribución normal.

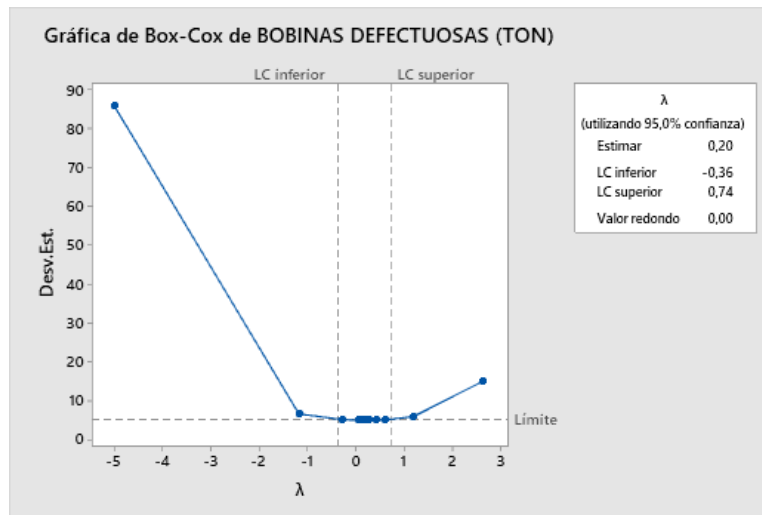
Luego se procedió a utilizar la transformación de BOX-COX dentro de *minitab*, se aplicó la transformación a los datos y se obtuvo la siguiente información, tal como se visualiza en la tabla 7.

Tabla 9
Bobinas no conforme con transformación BOX-COX

Semanas (Nº)	Transformación BOX-COX
semana 1	1,63550
semana 2	2,41761
semana 3	2,67042
semana 4	2,98981
semana 5	1,11054
semana 6	2,15640
semana 7	1,75354
semana 8	2,83966
semana 9	3,64427
semana 10	2,89856
semana 11	2,38536
semana 12	2,07305
semana 13	2,81331
semana 14	2,09149
semana 15	2,50862
semana 16	2,41743
semana 17	1,07841
semana 18	1,57381
semana 19	2,16091
semana 20	1,08957
semana 21	2,43799
semana 22	2,45428
semana 23	2,18143
semana 24	1,06781
semana 25	1,69212
semana 26	2,13085
semana 28	2,10718
semana 29	2,13830
semana 30	1,53558

Además, se obtuvo la gráfica de *box-cox* (figura 9), la cual sirvió como referencia para conocer si los datos debían ser transformados.

Figura 7
Grafica BOX-COX bobinas no conforme

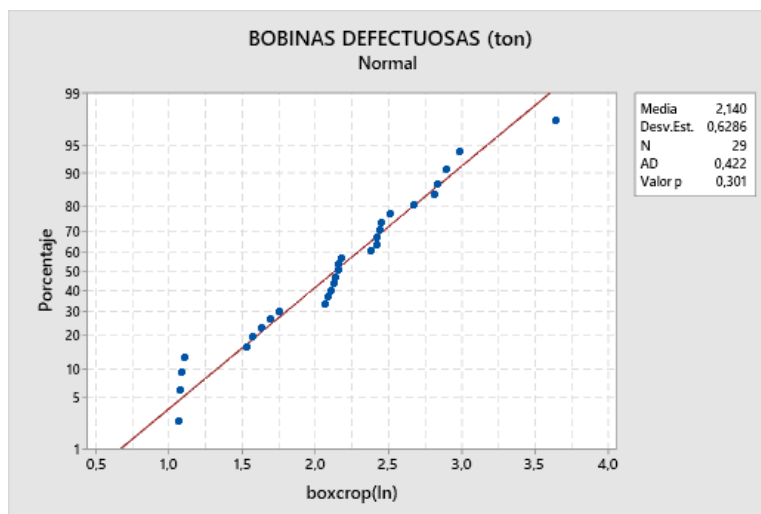


Como el valor de 1 no se encuentra entre el LC inferior y LC superior, los datos si necesitaban ser transformados. Posterior a esto, se realizó la prueba de normalidad a los datos transformados por box-cox (figura 10), para esto, se establecieron las hipótesis a continuación:

Ho: Los datos presentan una distribución normal

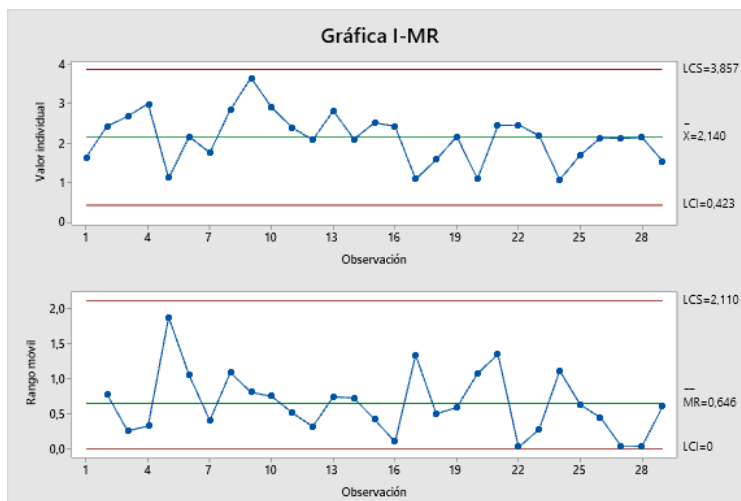
Hi: Los datos no presentan una distribución normal

Figura 8
Prueba de normalidad para datos por transformación Box-Cox



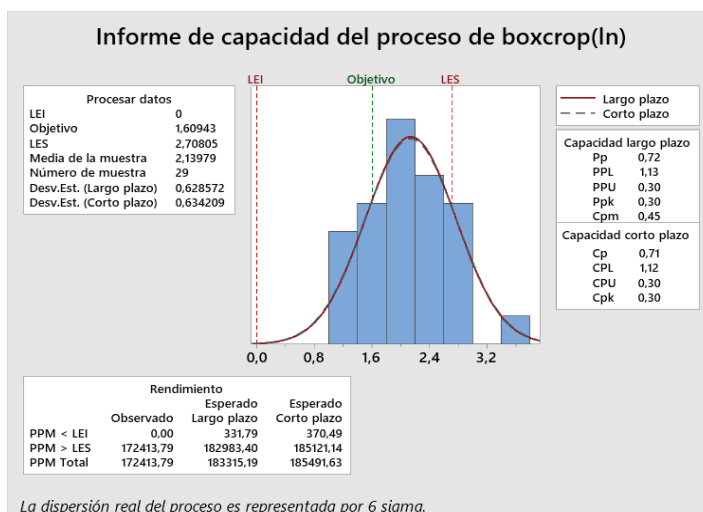
De lo anterior expuesto, se obtuvo un valor P de 0.301, lo cual es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la H_0 , y se rechaza la H_1 , es decir, Los datos presentan una distribución normal. Por otra parte, se procedió a realizar una carta de control para los datos, tal como se muestra en la figura 11.

Figura 9
Gráfica de carta de control IMR



De este modo, se demuestra que el proceso es estable. Posteriormente, se realizó un análisis de capacidad a los datos expuestos (figura 12)

Figura 10
Análisis de Capacidad



Se evidenció un valor de 0.71 para la capacidad potencial, lo cual nos coloca en la categoría 3 del proceso, según se muestra en la tabla 8.

Tabla 10
Clasificación del CP por categoría del proceso

Cp	CATEGORIA DEL PROCESO	DECISION
Cp > 2	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma
Cp > 1.33	1	Adecuado
0,67 < Cp < 1	2	Parcialmente adecuado, requiere un control estricto
0.67 < Cp < 1	3	Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria
Cp < 0.67	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

De igual manera, se obtuvo como resultado el valor del Cpk = 0.30, lo cual muestra que nuestros datos están descentrados, tal como se evidencia en la figura 12, a partir de esto, al corregir este problema, se alcanzará la capacidad potencial, es decir Cp = 0.71.

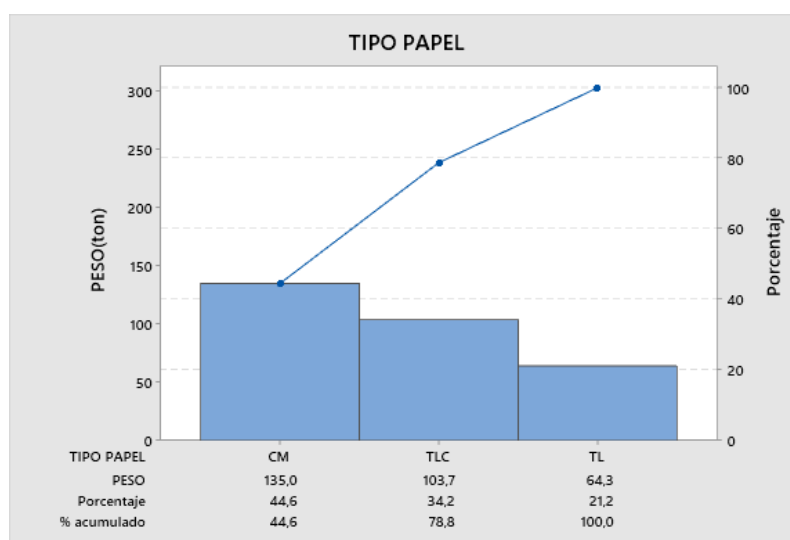
2.3 Estratificación del problema

Para este punto, se estratificó el problema de acuerdo a las causas que mayor impacto tienen, por consiguiente, se tienen 2 variables de estratificación:

- Tipo de papel
- Tipo de defectos

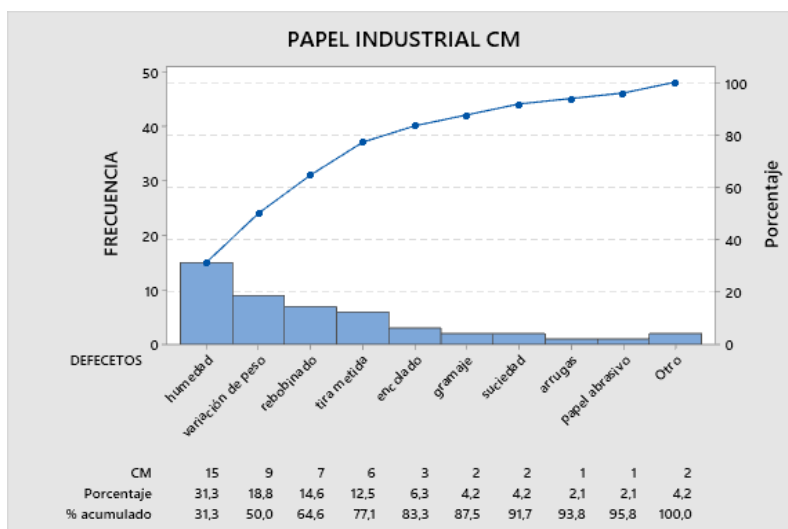
Tal como se muestra en la figura 13.

Figura 11
Estratificación por tipo de papel



Se evidenció que el 78.8% de mis problemas de bobinas defectuosas se encontraron en el papel CM y TLC, por lo tanto, se realizó un Pareto de tipo de defecto para cada tipo de papel. En primer lugar, se realizó un Pareto por tipo de defectos para el papel industrial CM con un porcentaje de impacto del 44.6% (figura 13).

Figura 12
Tipos de defectos en papel industrial CM



Luego, mediante el gráfico de la figura 14, se evidenció que los defectos que mayor impacto tienen en el papel industrial CM, es porcentaje de humedad, variación del peso, rebobinado y tira metida, tal como se muestra en la tabla 9.

Tabla 11
Defectos con mayor impacto en papel industrial CM

Defectos	Cálculo	CM (44,6)
Humedad (31,3%)	$0,313 \times 0,446$	14,0%
Variación de peso (18,8%)	$0,188 \times 0,446$	8,4%
Rebobinado (14,6%)	$0,146 \times 0,446$	6,5%
Tira metida (12,5%)	$0,125 \times 0,446$	5,6%

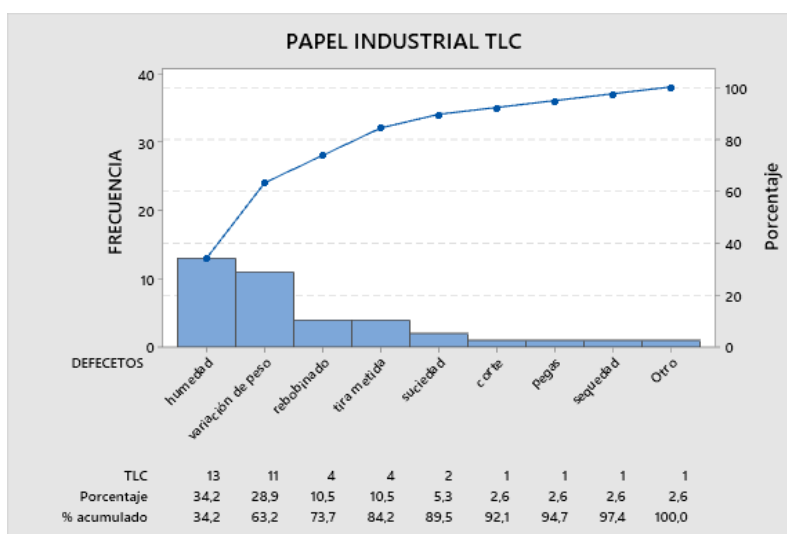
Se selecciona el defecto con mayor porcentaje de relevancia, y haciendo uso de la herramienta para definir un problema enfocado 5W + 2H, se estableció el problema enfocado N°1.

Problema enfocado 1:

“Existe un alto porcentaje de bobinas defectuosas en el molino desde agosto/2022 por problemas de calidad en el papel industrial CM, por variación en él %humedad fuera de los límites establecidos, el cual representa el 14%”

En segundo lugar, se elaboró un segundo Pareto para el papel TLC, el cual representa un 34.2% del problema de bobinas defectuosas.

Figura 13
Tipo de defectos en papel industrial TLC



Adicional a esto, se evidencia por medio de la gráfica de Pareto del papel industrial TLC (figura 15), los defectos con mayor impacto en el papel industrial TLC son: %humedad, variación de peso, rebobinado y tira metida, tal como se muestra en la tabla 10.

Tabla 12
Defectos con mayor impacto en el papel industrial TLC

DEFECTOS	Cálculo	TLC (34,2%)
Humedad (34,2%)	$0,342 \times 0,342$	11,7%
Variación de peso (28,9%)	$0,289 \times 0,342$	9,9%
Rebobinado (10,5%)	$0,105 \times 0,342$	3,6%
Tira metida (10,5)	$0,105 \times 0,342$	3,6%

Se selecciona el defecto con mayor porcentaje de relevancia según la tabla 10, y haciendo uso de la herramienta para definir un problema enfocado 5W + 2H, se estableció el problema enfocado N°2.

Problema enfocado 2:

“Existe un elevado porcentaje de bobinas defectuosas en el molino desde agosto/2022 por problemas de calidad en el papel industrial TLC, por variación en él %humedad fuera de los límites establecidos, el cual representa el 11,7%”

A continuación, en conjunto con el equipo de calidad se verificó que, el papel CM y TLC son afectadas por las mismas causas que provocan problemas con el %humedad. Por consiguiente, se unificaron los problemas enfocados para su posterior análisis, así se obtuvo lo siguiente:

“Existe un elevado porcentaje de bobinas defectuosas en el molino desde agosto/2022 por problemas de calidad en el papel industrial CM y TLC, por variación en él %humedad fuera de los límites establecidos, el cual representa el 25,7%”

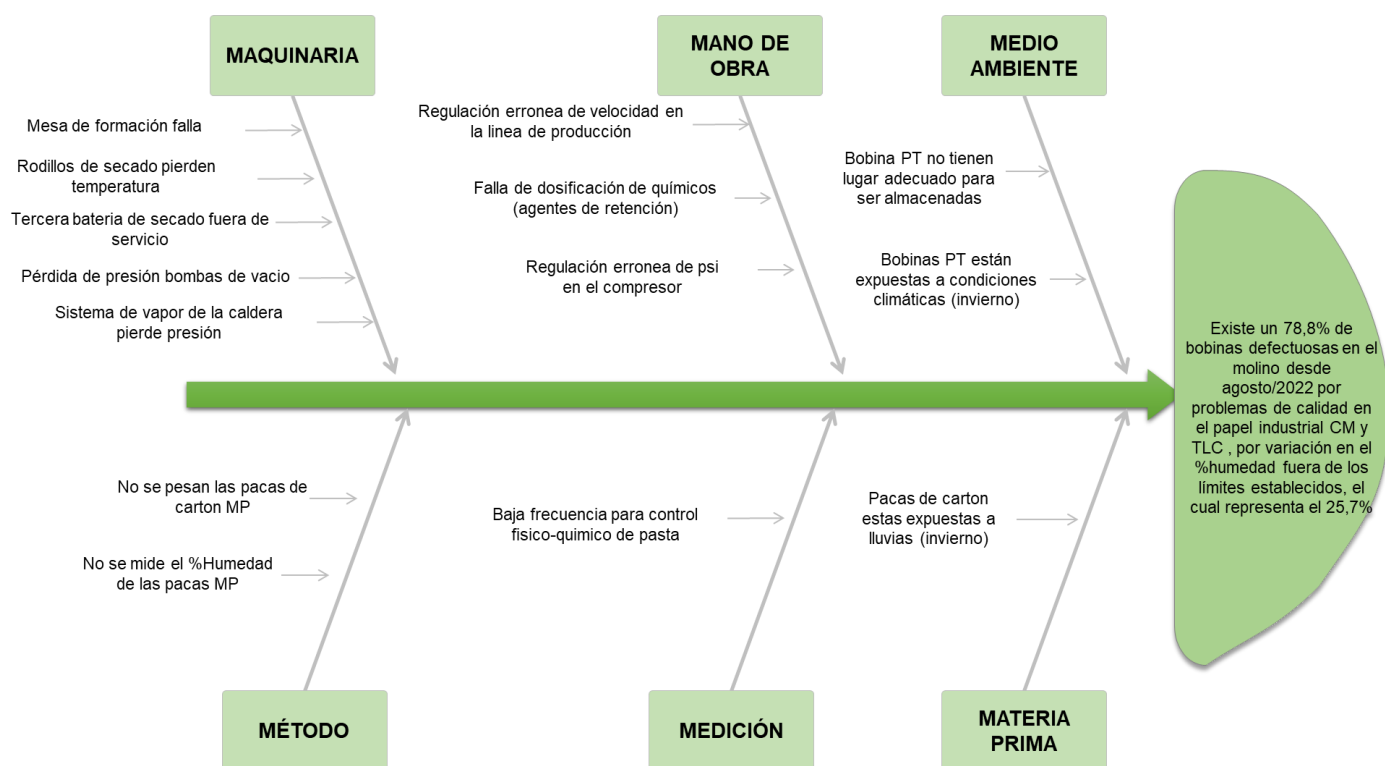
2.4 Análisis

2.4.1 Diagrama de causa – efecto (Ishikawa)

Se realizó un diagrama de Ishikawa con la finalidad de mostrar todas las posibles causas que afectan directamente a las bobinas con problemas de humedad en el papel CM y TLC, se elaboró un único diagrama para ambos tipos de papel industrial con el personal responsable del proceso, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 14

Diagrama de Ishikawa de bobinas con problemas de porcentaje de humedad



2.4.2 Priorización de causas

Luego de identificar las causas potenciales de nuestro problema, se realizó una calificación para cada causa, para identificar las que tengan mayor impacto, para esto se pidió la colaboración de los clientes claves:

- Planificador de mantenimiento
- Jefe de producción
- Supervisor de calidad

En la tabla 11 se muestra la ponderación que se utilizó para calificar las causas.

Tabla 13
Ponderación por nivel de impacto

CALIFICACIÓN	
0	Ningún impacto
1	Impacto débil
3	Impacto medio
9	Alto impacto

Se procedió a calificar cada una de las causas por parte de los clientes claves, según la ponderación establecida, para luego, sumar los valores correspondientes por causa y obtener un valor total referencial, de esta forma se obtuvieron los resultados de la tabla 12.

Tabla 14
Matriz de priorización de causas

BOBINAS DEFECTUOSAS (TLC – CM) POR %HUMEDAD					
x	VARIABLE X'S	PLANIFICADOR MANTENIMIENTO	SUP.CALIDAD	JEFE PRODUCCIÓN	TOTAL
1	Mesa de formación falla	9	3	9	21
2	Rodillos de secado pierden temperatura	3	9	9	21
3	Tercera batería de secado fuera de servicio	3	3	3	9
4	Pérdida de presión bombas de vacío	9	3	1	13
5	Sistema de vapor de la caldera pierde presión	3	9	9	21
6	Regulación errónea de velocidad en la línea de producción	9	3	1	13
7	Falla de dosificación de químicos (agentes de retención)	0	3	1	4
8	Regulación errónea de psi en el compresor	1	1	9	11
9	Bobina PT no tienen lugar adecuado para ser almacenadas	9	1	9	19
10	Bobinas PT están expuestas a condiciones climáticas (invierno)	9	3	3	15
11	No se pesan las pacas de cartón MP	0	1	3	4
12	No se mide el %Humedad de las pacas MP	1	1	3	5
13	Baja frecuencia para control fisicoquímico de pasta	3	3	9	15
14	Pacas de cartón están expuestas a lluvias (invierno)	0	3	3	6

2.4.3 Plan de verificación de causas

Luego de identificar que tienen mayor impacto a nuestro problema, se procedió a realizar la verificación, elaborando un plan (tabla x) donde se muestra la teoría de impacto y como se verificará.

Tabla 15
Plan de verificación de causas

Xi	Causas	Teoría acerca del impacto	¿Como se verificará?	Estatus
1	Mesa de formación falla	Al no estar en óptimas condiciones, no se evacua correctamente el agua de la pasta, ocasionando que la bobina como producto final, tenga un elevado %humedad	GEMBA (Revisión en máquina-entrevista al operador)	Verificado
2	Rodillos de secado pierden temperatura	Los rodillos funcionan con una temperatura elevada y por medio de contacto con la hoja de papel industrial retiran la humedad, al no estar en óptimas condiciones los rodillos, la hoja no se seca uniformemente, produciendo así bobinas con fillos húmedos o humedad muy variada en diferentes partes de la hoja.	GEMBA (Revisión de rodillo-entrevista planificador mantenimiento)	Verificado
5	Sistema de vapor de la caldera pierde presión	Todos los procesos de la línea que retiran la humedad de la hoja usan la caldera como fuente de calor, al no ser eficiente la caldera, la presión de vapor suele disminuir y producto de esto, la temperatura baja, ocasionando que la extracción de humedad en los procesos sea deficiente, produciendo %humedad altos en las bobinas.	GEMBA (recogida de datos - paradas de la máquina por avería de la caldera)	Verificado
9	Bobina PT no tienen lugar adecuado para ser almacenadas	Las bobinas PT se almacenan en un galpón abierto, las bobinas PT están expuestas a la humedad del ambiente y se agrava con garuas o lluvias moderadas. Las bobinas adsorben la humedad del ambiente y producto de esto cuando son despachadas, el cliente final en sus análisis detecta un alto %humedad.	GEMBA (prueba de % de humedad para rollos almacenados en cobertizo abierto)	Verificado

2.4.4 Verificación de causa

Mesa de formación falla

Figura 15
Mesa de formación



Mediante *gamba* se realizó una inspección a la máquina, y se evidenció lo siguiente:

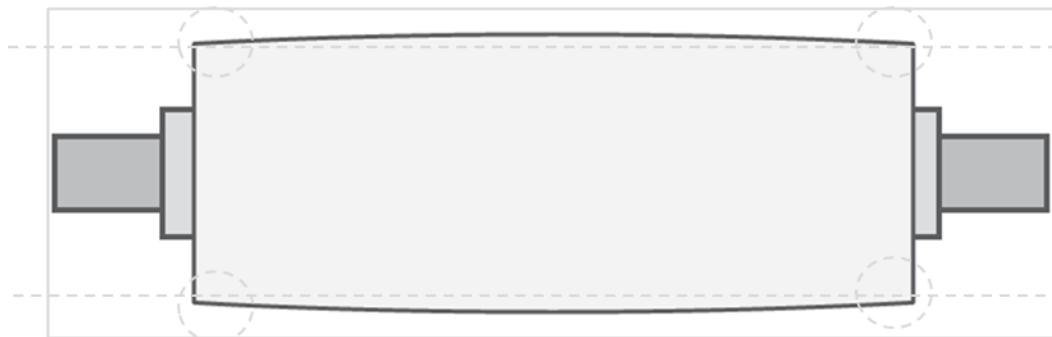
- Acumulación de residuos de pasta en las bombas de vacío y a sus alrededores
- No existe una frecuencia establecida para realizar limpieza de la mesa de formación
- Solo se realiza limpieza de la mesa de formación cuando la línea de producción se detiene

Rodillos de secado pierden temperatura.

Figura 16
Zona de Secado



Figura 17
Deformación de rodillo



Se realizó una inspección de los rodillos en la zona de secado, evidenciando que el 60% de rodillos se encontraban con impurezas impregnadas en su superficie, al haber suciedad en la superficie, se perjudica la transferencia de calor para retirar humedad del papel. Mediante entrevista al personal de mantenimiento se conoció que los rodillos presentan deformación en su superficie, esto ocurre porque los rodillos se usan continuamente para el proceso y están expuestos a altas temperaturas.

Producto de lo anterior, se presenta mayor tensión del papel en la zona media del rodillo (superficie pandeada), esto ocasiona que en los extremos (ancho) del papel se pierda tensión y transferencia de calor entre los filos del rodillo y los filos del papel.

Sistema de vapor de caldera pierde presión

Mediante gamba y entrevistas al personal de mantenimiento se encontró que la presión de la caldera presenta variaciones frecuentemente, afectando directamente a los rodillos de secado. Teniendo en cuenta lo anterior descrito, cuando la presión de la caldera baja, la temperatura de los rodillos también disminuye en igual proporción, provocando que se extraiga menor humedad del papel. Por otro lado, no se tienen bombas reguladoras de presión para el sistema de vapor, de igual forma, no existe alerta automática cuando la presión de la caldera disminuye, cuando un operador se da cuenta de este suceso, da la voz de alerta para disminuir la velocidad de la línea de producción, esto puede llegar tardar varios minutos. En la tabla x se puede observar fallas frecuentes observadas en la caldera para 2 días laborables.

Tabla 16
Paradas por caldero

Fallo en la caldera		
Fecha de fallo	Cantidad	Motivo
26/07/2023	2	Caída de presión
28/0/2023	1	Manómetro averiado
28/07/2023	1	Falla en el alimentador de oxígeno. Alimentador de oxígeno es inspeccionado.

Actualmente la presión promedio en la caldera es de 30 psi, se conoce que se puede incrementar la velocidad de la línea de producción un 60% si se tiene una presión estable en la caldera de al menos 70 psi.

Bobinas de producto terminado no tienen lugar adecuado para ser almacenadas

Mediante *gemba* se inspeccionó el galpón donde se almacenan las bobinas que son despachadas hacia el cliente final, se evidenció un galpón de 8 metros de altura con una superficie de 8x20 (metros) para almacenar bobinas. Figura 20

Figura 18
Almacenamiento de bobinas



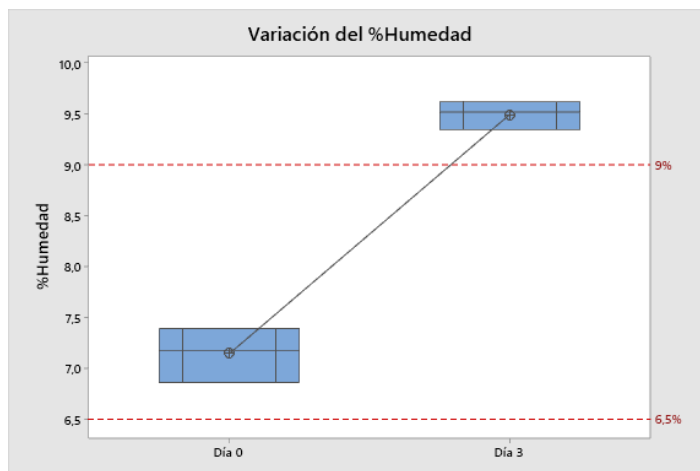
De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el diseño inicial del galpón es para carga y descarga de producto terminado a vehículos de carga pesada. El galpón no cuenta con protecciones laterales que eviten que garuas, sol o lluvias afecten directamente la integridad de las bobinas del papel. Se realizó pruebas de humedad en 2 diferentes días a bobinas almacenadas en el galpón abierto, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 17
Prueba de humedad

Muestra No.	Día 0			Día 3			
	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	%Humedad	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	%Humedad	%Incremento
1	203	188	7,39	208	188	9,62	2,23
2	204	190	6,86	210	190	9,52	2,66
3	209	194	7,18	214	194	9,35	2,17

Finalmente, con los datos recolectados se construyó un gráfico de cajas para analizar la media de los datos. Adicional, se conoce que en el día 2 y 3 se presentaron garúas leves de aproximadamente 2 horas de duración. Figura 21

Figura 19
Diagrama de caja - Diferencia de medias



Existe diferencia entre las medias de cada muestra, por lo tanto, se evidencia que almacenar las bobinas por 3 días en el galpón abierto, aumenta el %humedad hasta +2,66% a niveles fuera de parámetros (Producto defectuoso).

2.4.5 Análisis de causa raíz

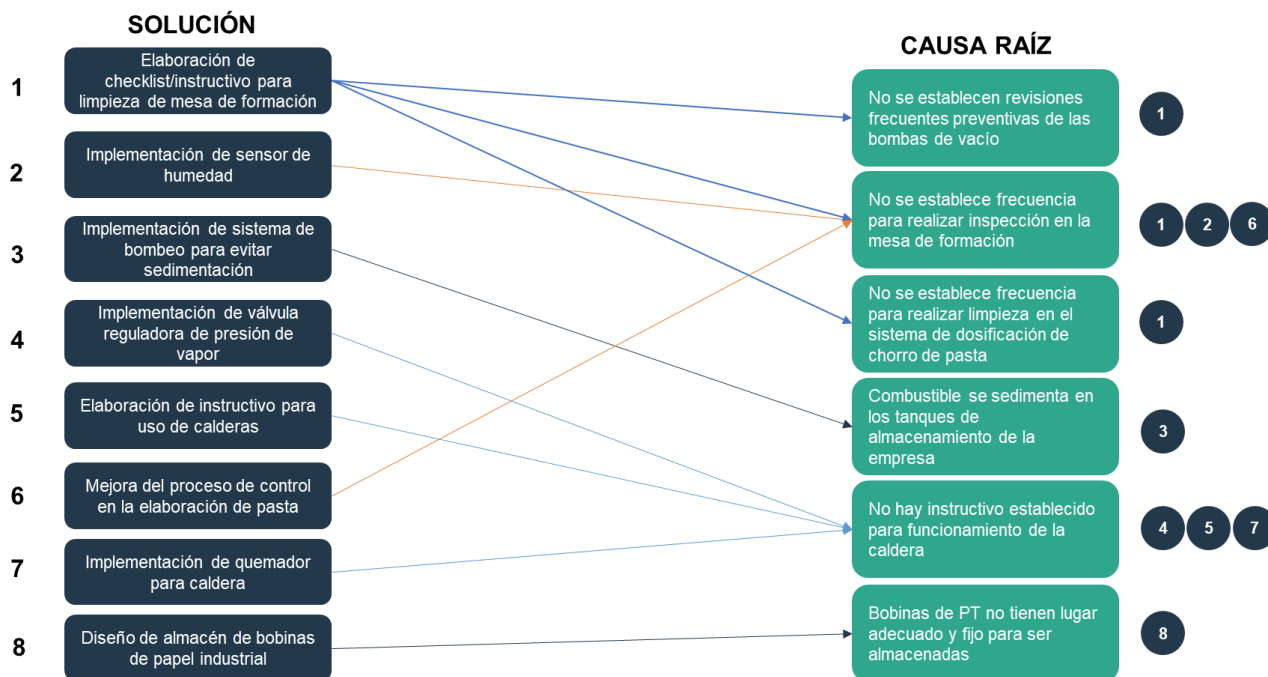
Luego de verificar las causas de mayor impacto, se utilizó la herramienta del 5 por qué para realizar un análisis más profundo de las causas raíz, tal como se muestra en el apéndice A; Así tenemos las siguientes causas raíz:

- No se establecen revisiones frecuentes preventivas del equipo.
- No se establece una frecuencia para realizar limpieza en la mesa de formación.
- No se establece una frecuencia para realizar limpieza en el sistema de dosificación de chorro de pasta.
- Se sedimenta en los tanques de almacenamiento.
- No hay instructivo establecido para calibrar la caldera.
- Combustible se sedimenta en los tanques de almacenamiento de la empresa.
- Bobinas de PT no tienen lugar adecuado y fijo para ser almacenadas.

2.5 Generación de soluciones potenciales

Con la participación del jefe de mantenimiento, supervisor de calidad y operadores de producción se realizó una lluvia de ideas para generar soluciones que eliminen o disminuyan nuestras causas raíz encontradas bajo un previo análisis. Tal como se muestra en la figura 22

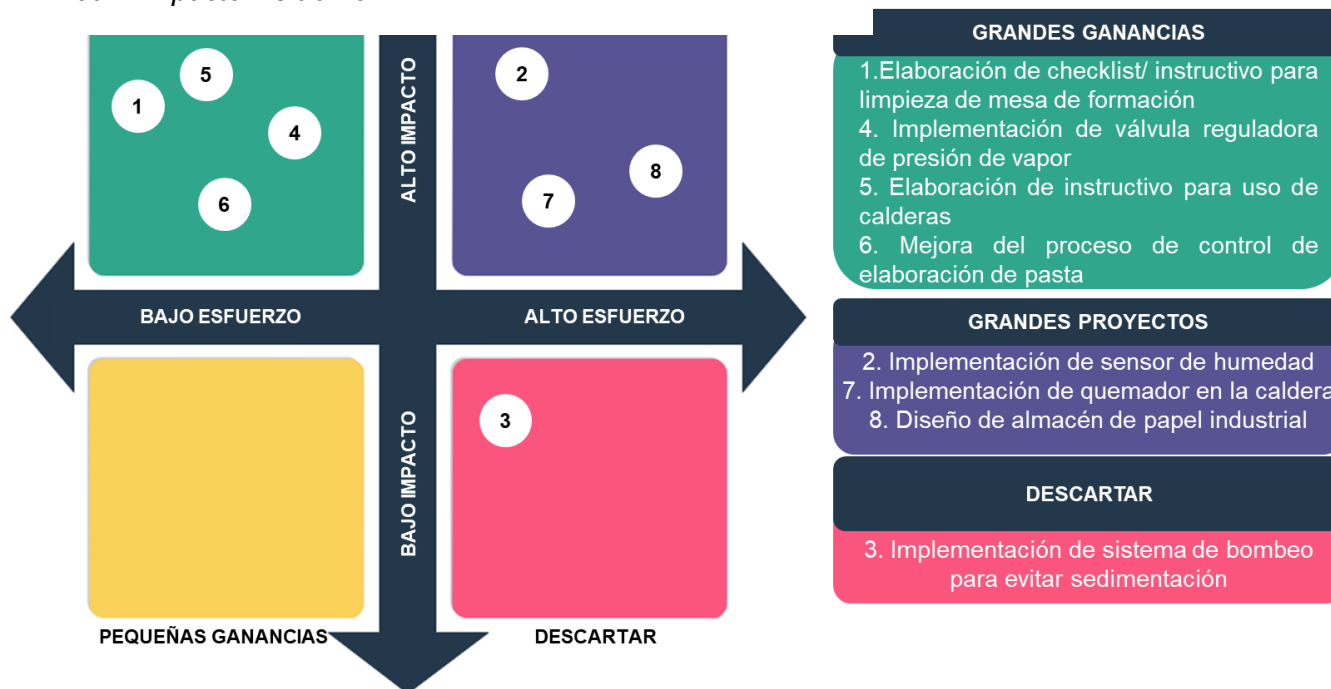
Figura 20
Generación de soluciones potenciales



2.5.1 Priorización de soluciones

Se utilizó la matriz impacto – esfuerzo, y en conjunto con los clientes claves se evaluó cada una de las soluciones potenciales en base a los recursos que se necesitarían para llevar a cabo su realización y su impacto a la empresa; así tenemos la figura 23.

Figura 21
Matriz Impacto-Esfuerzo



2.6 Plan de implementación

Nos permite realizar una ejecución ordenada de cada una de las soluciones potenciales, detallando información importante para la implementación de cada solución, conociendo costos de implementación, ¿quién lo hará?, ¿por qué?, entre otras cuestiones. Tal como se muestra en la tabla 19 y 20

Tabla 18
Plan de implementación

N.º	SOLUCIÓN	CAUSA RAÍZ	¿CUÁNDO ?	¿POR QUÉ?	¿CÓMO?	¿QUIÉN?	¿DÓNDE?	COSTO	ESTADO
1	Elaboración de checklist/instru ctivo para limpieza de mesa de formación	<ul style="list-style-type: none"> o No se establecen revisiones frecuentes preventivas de las bombas de vacío o No se establece frecuencia para realizar inspección en la mesa de formación 	25/07/2023 – 28/07/2023	Disminuir parada por obstrucción del sistema de drenaje de agua	Junto con el operador se registrará cada paso a seguir para una correcta limpieza en la mesa de formación	Jefferson Vázquez – Operador de producción	Línea de producción (área de zona húmeda)	\$0	Elaborado
4	Implementación de válvula reguladora de presión de vapor	No hay instructivo establecido para funcionamiento de la caldera	29/07/2023 – 30/07/2023	Eliminar el impacto de caídas presión	El operador instalará una válvula de reguladora de vapor en la tubería.	Jefferson Vázquez – Personal de mantenimiento	Línea de vapor	\$632,85	Implementado

Tabla 19
Plan de implementación

N.º	SOLUCIÓN	CAUSA RAÍZ	¿CUÁNDO?	¿POR QUÉ?	¿CÓMO?	¿QUIÉN?	¿DÓNDE?	COSTO	ESTADO
5	Elaboración de instructivo para uso de caldera	No hay instructivo establecido para funcionamiento de la caldera	17/07/2023 – 19/07/2023	Disminuir errores en el arranque de la caldera al inicio del turno	Junto al operador de caldera se elaborará un instructivo a paso que permita un correcto arranque de la caldera	Jefferson Vázquez – Operador de caldera	Área de caldera	\$0	Elaborado
6	Mejora del proceso de control de elaboración de pasta	No se establece frecuencia para realizar inspección en la mesa de formación	11/07/2023 – 14/07/2023	Tener mayor control de los parámetros fisicoquímico de la pasta	Junto con el Analista de calidad se hará un análisis de valor del flujo de elaboración de pasta	Jefferson Vázquez – Analista de calidad	Área de elaboración de pasta	\$0	Elaborado

2.7 Implementación de las soluciones

2.7.1 Elaboración de checklist/instructivo para limpieza de mesa de formación

Actualmente no se tiene establecida una frecuencia para realizar la limpieza de la mesa de formación, esto provoca que los residuos generados por el proceso de elaboración de pasta se sedimenten en zonas como las válvulas de vacío, las cuales están encargadas de drenar el agua de la pasta, permitiéndole así alcanzar su porcentaje óptimo de humedad, si las válvulas de vacío se obstruyen, disminuirán su eficiencia para drenar agua de la pasta, provocando bobinas con un alto porcentaje de humedad.

Es por esta razón que se elaboró un instructivo y checklist para llevar el control de la limpieza en la mesa de formación, asegurando un área limpia y ordenada. Tal como se muestra en la figura 24 y 25

Figura 22

Instructivo de limpieza de mesa de formación

INSTRUCTIVO PARA LIMPIEZA DE MESA DE FORMACIÓN

Tiene como objetivo mantener un correcto funcionamiento de las partes del equipo y alargar la vida útil de las diferentes componentes que conforman la mesa de formación.

N.º	ACTIVIDAD
1	Apagado del motor principal del molino
2	Apagado del circuito de la mesa de formación
3	Verificar disponibilidad de 2 escobas, 1 balde de 5 galones, químico para limpieza, manguera, ducha de presión.
4	Con suficiente agua, proceder a retirar los sedimentos que se encuentran en el DAMPER (frontal/posterior)
5	Colocar la ducha de presión en el medio de la tela, conectar ducha al químico preparado
6	Accionar con precaución el motor secundario que mueve el rodillo couch para hacer mover la tela transportadora
7	Accionar la ducha de presión para que el químico se vierta sobre la tela transportadora y retire los sedimentos de pasta
8	Apagar motor secundario del rodillo couch, y proceder a retirar los sedimentos de pasta del rodillo couch
9	Retirar la pasta acumulada en la zona de bombas de vacío
10	Retirar los sedimentos de los 8 rodillos locos de la tela transportadora
11	Verter agua para retirar la pasta ubicada en la estructura
12	Verificar que no se encuentre residuos de pasta en los diferentes componentes de la mesa de formación

Responsable: Operador de Producción

Figura 23

Checklist de limpieza para mesa de formación

Elaboración Checklist para mesa de formación

Objetivo: Revisión del correcto funcionamiento de los diferentes componentes de la máquina, así como orden y limpieza.

Marque con una "X" donde corresponda.

(Se debe realizar cada Lunes o al inicio de cada semana laboral)

CHECKLIST DE MESA DE FORMACIÓN				
Fecha:	Operador:			
Funcionamiento				
Descripción	Correcto	Incorrecto	Observación	
¿Polea de transmisión se encuentra en buen estado?				
¿Motor principal de transmisión se encuentra en buen estado?				
Válvulas de vacío del Dampier funcionan normalmente				
Dosificación de pasta hacia la mesa de formación				
Apertura del labio de acuerdo con la orden de producción				
¿Tela transportadora se encuentra en buen estado?				
Rodillos locos transportadores giran normalmente				
Orden y limpieza				
Descripción	Limpio	Moderado	Muy sucio	Observación
Motor principal de transmisión del rodillo couch				
Banda de transmisión rodillo couch				
Válvulas de vacío del Dampier				
Estructura de mesa de formación				
Medidores de presión				
Pasillo, pasamanos y escalera				
Panel de control de mesa de formación				

2.7.2 Implementación de válvula reguladora de vapor

Existen caídas de presión en el sistema de vapor de la caldera, lo que afecta directamente al proceso de secado del papel, que finalmente impacta al porcentaje de humedad de la bobina de papel.

Se implementó la válvula reguladora de vapor para poder eliminar/disminuir el impacto de las variaciones de presión de la caldera hacia la línea de producción. La válvula está compuesta de 3 partes:

- Llave tipo mariposa de entrada y salida de 6"
- Válvula reguladora de presión
- 1 manómetro de presión de 150 psi

En la figura 26 observamos el antes y después de la implementación de la válvula de presión.

Figura 24
Implementación de válvula de vapor



La válvula nos permite minimizar el impacto de las variaciones de presión que provienen de la caldera, permitiéndonos mantener una presión de vapor constante aguas abajo en el proceso productivo hasta el producto final.

2.7.3 Elaboración de instructivo para uso de caldera

Actualmente no se contaba con un instructivo de la caldera, la elaboración de un instructivo para el arranque de la caldera asegura en gran medida un correcto funcionamiento durante todo el turno, disminuyendo la frecuencia de fallo con respecto a las caídas de presión.

El seguimiento paso a paso de forma metodológica dentro del instructivo disminuye errores operativos en el arranque de la caldera. Figura 27 y 28

Figura 25
Instructivo de caldera











ARRANQUE INICIAL		
No.	Actividad	Foto
1	Subir breaker del tablero principal de caldera.	
2	Verificar la llave de paso de los equipos de bomba de agua, bomba de combustible, compresor de aire, resistencias eléctricas y verificar la energía eléctrica.	
3	Encender calentador de bunker, colocando en posición de "ON"	
4	Abrir válvula para recirculación de combustible para subir temperatura a rango de inflamación mayor a 65°C. Al llegar a aquella temperatura, cerrar válvula. (Abrir en sentido antihorario)	
5	Abrir válvula de alimentación de gas. (Posición vertical abierto)	

Figura 26
Instructivo de caldera

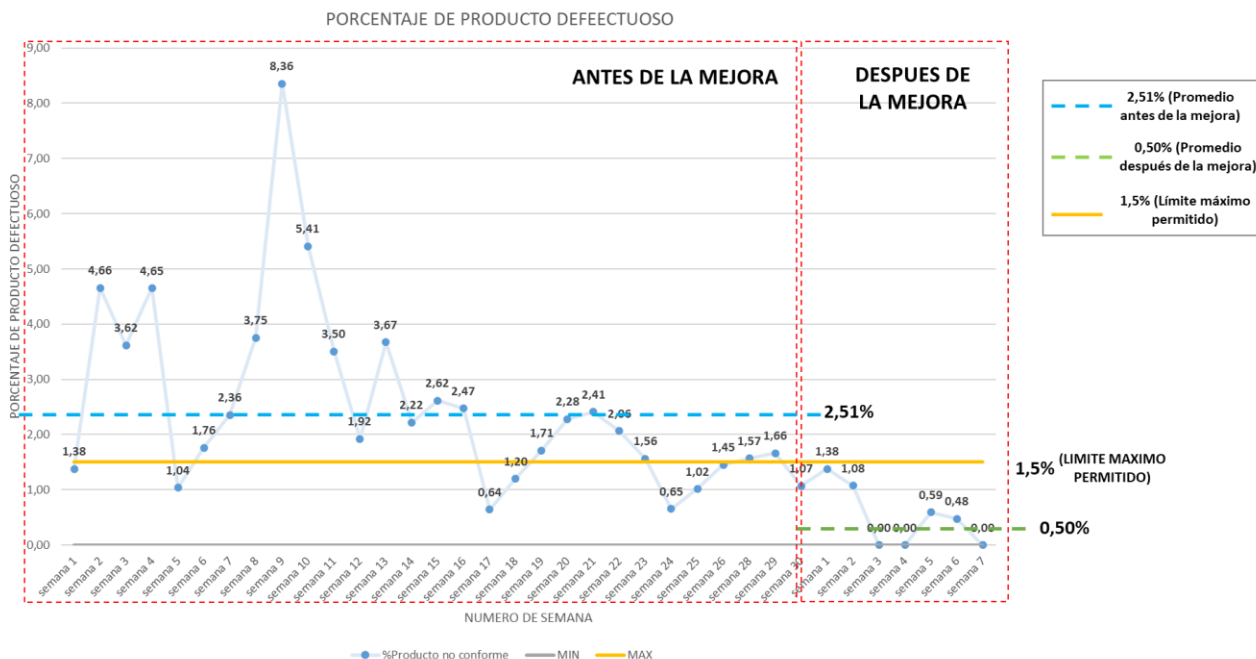
6	Arrancar en intervalos de 5 minutos de encendido y 5 minutos de apagado por 3 tiempos para la transferencia de temperatura en el sistema interno de caldera.	
7	Abrir válvula de venteo hasta llegar a una presión de 30 Psi, al llegar a esa presión cerrar válvula. (Abrir en sentido <u>anti</u> horario)	
8	Subir presión del caldero lentamente hasta llegar al punto operativo. (Entre 50 a 100 Psi.) (Abrir en sentido <u>anti</u> horario.)	
9	Furgar para limpieza lateral y fondo de solidos acumulados en tanque de agua. (Abrir en sentido antihorario, limpieza lateral)(Posición vertical abierta, <u>limpieza</u> fondo)	
10	Abrir válvula principal de salida de vapor de acuerdo con la producción. (Abrir en sentido antihorario)	

Capítulo 3

3 Resultados y Análisis

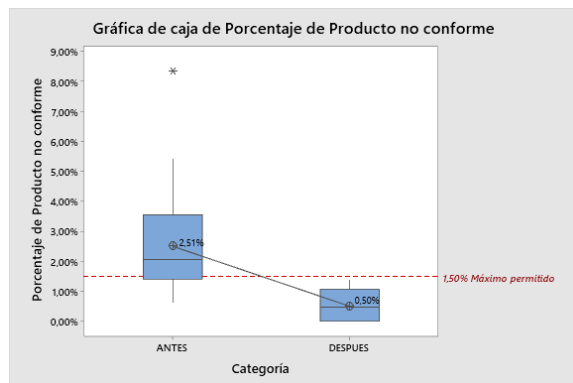
Luego de ejecutar las implementaciones de las soluciones propuestas, se procedió a realizar el análisis estadístico de la mejora, tomando como línea base de comparación la data histórica de la empresa previo a la implementación de las mejoras, tal como se ve en la figura 30

Figura 28
serie de tiempo del porcentaje de bobinas defectuosas



Mediante el uso de la herramienta Minitab se procedió a realizar un diagrama de cajas de diferencia de medias, teniendo en cuenta que se tienen 30 semanas para los datos del “Antes” y 7 semanas para los datos del “después”, tal como se muestra en la figura 31

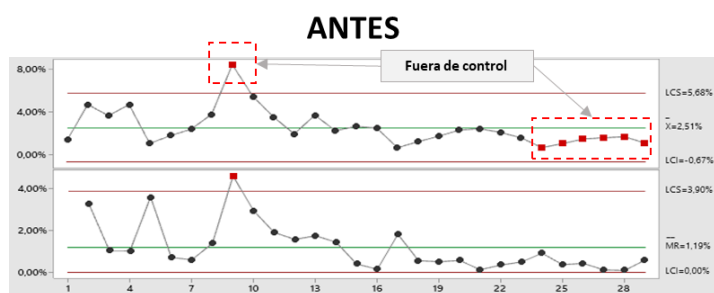
Figura 29
Gráfica de cajas diferencia de medias



Se evidencia un cambio en la media de los datos significativa, siendo para los datos tomados antes de la mejora un porcentaje de bobinas defectuosas de 2.51% vs los datos analizados luego de la mejora, el cual nos muestra 0.50% de bobinas defectuosas en promedio.

Así mismo, se analizaron los datos del antes de la mejora mediante el uso de la carta de control, tal como se muestra en la figura 32

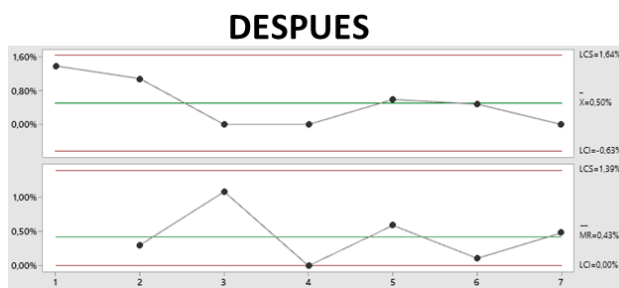
Figura 30
Carta de control de antes de la mejora



Se evidencia que existen 7 puntos fuera de control, de los cuales 1 punto se encuentra fuera de los límites y 6 puntos muestran un cambio en la media.

Posteriormente se realiza el análisis de carta de control a los datos después de la mejora, tal como se muestra en la figura 33

Figura 31
Carta de control después de la mejora

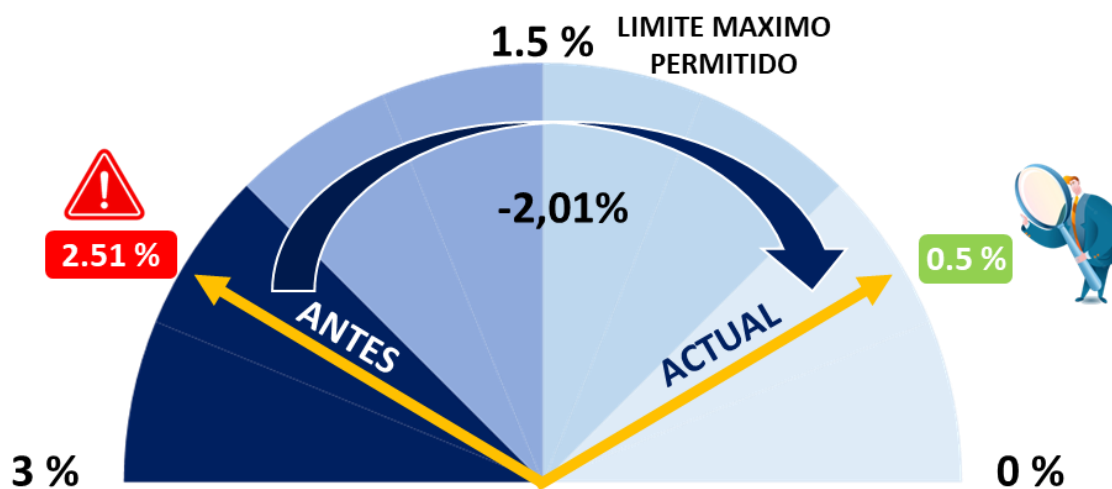


Luego de las implementaciones de las soluciones, se puede evidenciar que no existen puntos fuera de control.

Realizando una comparación del promedio de bobinas defectuosas entre la base de datos histórica vs los datos recaudados luego de la mejora, se aprecia una disminución promedio de

2.01% de bobinas defectuosas, siendo antes de la mejora 2.51% de bobinas defectuosas por semana y 0.5% de bobinas defectuosas en promedio por semana para los datos luego de la mejora (Actual). Figura 34

Figura 32
Porcentaje de bobinas defectuosas Antes vs Actual



3.1 Plan de control

Se elabora un plan de control para asegurar que las mejoras implementadas se mantengan a través del tiempo. Tal como se muestra en la tabla 21 y 22

Tabla 20
Plan de control

Nº	Solución	¿Qué voy a revisar?	¿Por qué lo voy a revisar?	¿Qué cantidad?	¿Cuándo lo voy a revisar?	¿Quién lo va a revisar?	Cómo puedo revisarlo/controlarlo?	Estado
1	Elaboración de checklist/instructivo para limpieza de mesa de formación	Que los trabajadores llenen el checklist correctamente	Para asegurar la funcionalidad del proceso	6 veces/semana	Al inicio del turno	Operador de mesa de formación	Realizar inspecciones aleatorias entre semana para verificar que se llene el checklist	IMPLEMENTADO
		Que el operador de la mesa de formación siga las instrucciones de limpieza	Para asegurar un óptimo funcionamiento de la mesa de formación y sus componentes	1 vez/mes	Mensual	Operador de mesa de formación	Realizar una inspección luego de la limpieza para verificar su correcta ejecución	
4	Implementación de válvula reguladora de presión de vapor	Que la válvula no presente fugas	Asegurar un correcto funcionamiento de la válvula	1 vez/día	Al inicio del turno	Supervisor de mecánico	Realizar inspecciones aleatorias	IMPLEMENTADO
		Que el manómetro muestre lecturas de presión dentro del rango establecido	Verificar que la presión sea la adecuada para el proceso	3 veces	Diario	Operador de la caldera	Llenar formato de reporte diario de la caldera	

Tabla 21
Plan de control

Nº	Solución	¿Qué voy a revisar?	¿Por qué lo voy a revisar?	¿Qué cantidad?	¿Cuándo lo voy a revisar?	¿Quién lo va a revisar?	Cómo puedo revisarlo/controlarlo?	Estado
5	Elaboración de instructivo para uso de caldera	Que el operador de caldera siga las instrucciones descritas en el instructivo	Para asegurar un óptimo arranque de la caldera	1 vez/día	Al inicio del turno	Operador de caldera	<ul style="list-style-type: none"> ○ Realizar inspecciones aleatorias en la semana ○ LUP de control de caldera 	IMPLEMENTADO
6	Mejora del proceso de control de elaboración de pasta	Que el Operador de producción realice inspección con el checklist de revisión de dosificación	Para asegurar el funcionamiento y una correcta dosificación de químicos al proceso	1 vez/hora	Diario	Operador de producción	Verificar que se esté llenando correctamente el checklist de dosificación de químicos	IMPLEMENTADO

3.2 Análisis de los tres pilares de sostenibilidad

Para el análisis de los pilares de sostenibilidad se interpretan los resultados bajo 3 enfoques específicos: pilar económico, pilar social y pilar ambiental

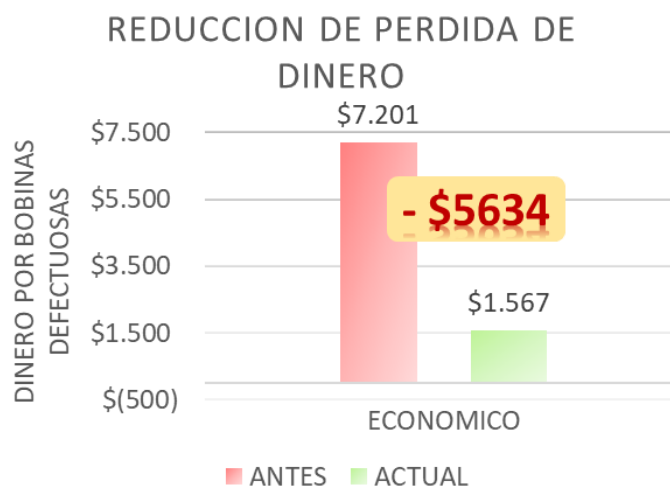
3.2.1 Pilar Económico

Mediante la reducción del 2.01% de bobinas defectuosas en promedio, se pudo alcanzar un ahorro por productos defectuosos de \$5634, tal como se muestra en la tabla 23 y figura 35

Tabla 22
Tabla comparativa Antes vs Después pilar económico

	Porcentaje bobinas defectuosas	Bobinas defectuosas (ton)	\$
ANTES	2,51%	12,00	\$7.201
ACTUAL	0,50%	2,61	\$1.567
Reducción del indicador (\$)			\$5.634

Figura 33
Gráfico de reducción de pérdida de dinero



3.2.2 Pilar social

Se redujo el retrabajo que se realizaba cuando se presentaban bobinas defectuosas en la línea de producción, disminuyó el traslado de bobinas hacia el área de bobinas defectuosas. Se realizó una encuesta de 5 preguntas para conocer el nivel de satisfacción laboral del operador involucrado en el proceso, siendo cada pregunta calificada entre 1 y 5, siendo 5 el puntaje mas alto de satisfacción laboral. Tal como se muestra en la figura 36 y figura 37

Figura 34
Calificación de encuesta de satisfacción laboral

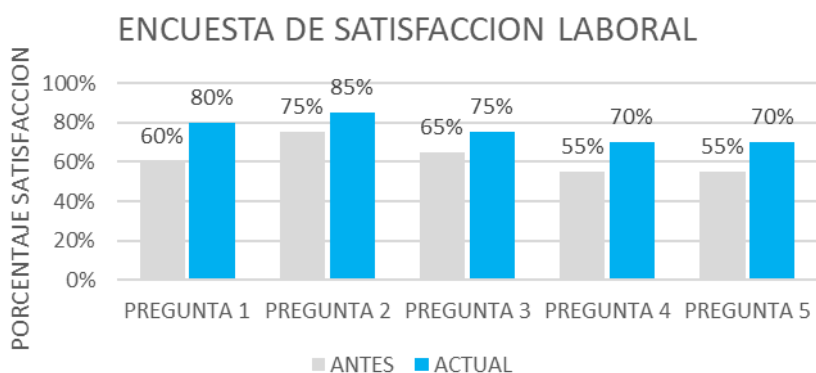
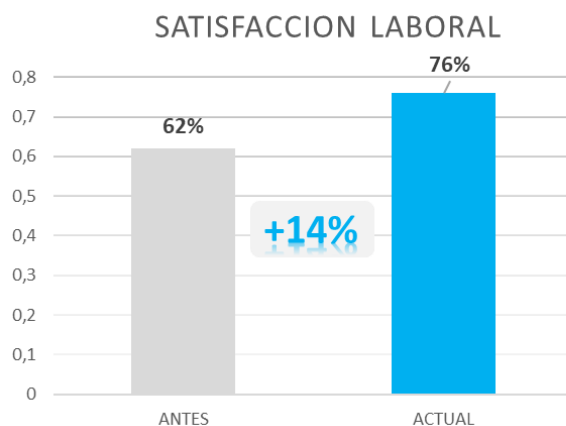


Figura 35
Comparación de satisfacción laboral Antes vs Después



3.2.3 Pilar ambiental

Se logró reducir el impacto ambiental un 78%, reduciendo 16.902 kg de CO₂ por semana emitidos hacia el ambiente, esto gracias a la reducción en la cantidad de bobinas defectuosas. Se muestra los datos comparativos del antes y después de emisiones de CO₂ al ambiente. Tal como se muestra en la tabla 24 y figura 38

Tabla 23
kg de CO₂ emitidos al ambiente

1,8 kg CO₂ por cada kg papel producido			
	Porcentaje bobinas defectuosas	Bobinas defectuosas (ton)	kg CO₂
ANTES	2,51%	12,00	21.604
ACTUAL	0,50%	2,61	4.702
Reducción del indicador (kg CO₂)			16 902

Figura 36
kg CO₂ emitidos al ambiente Antes vs Actual

CO₂ EMITIDO AL AMBIENTE



Capítulo 4

Conclusiones

- Mediante entrevistas y encuestas realizadas a los clientes claves de la empresa, se logró determinar la variable representativa para la empresa, siendo esta el porcentaje de bobinas defectuosas.
- Se enfocó el problema en las bobinas defectuosa por humedad, ya que representaban entre el papel CM y TLC un 25,7% del total de los defectos.
- Mediante la implementación del instructivo de caldera se logró asegurar un correcto arranque de la caldera, disminuyendo la cantidad de caída de presiones durante el turno y asegurando un buen funcionamiento operativo del proceso
- A través de la implementación del checklist e instructivo de limpieza de la mesa de formación se logró establecer un cronograma para realizar la limpieza de manera correcta y autónoma por parte de los operadores.
- Con la implementación de la válvula reguladora de presión de vapor se logró reducir el impacto negativo de las variaciones de presión de la caldera hacia el proceso producto, evidenciando una disminución significativa en la cantidad de bobinas defectuosas luego de su implementación.
- Al implementar estas mejoras se logró una reducción del porcentaje de bobinas defectuosas en 2.01%, teniendo actualmente en promedio por semana 0.5% de bobinas defectuosas por semana.

Recomendaciones

- Se debe realizar el diseño y construcción de un galpón con las condiciones adecuadas para almacenar bobinas de papel industrial
- Implementación de un sensor de humedad de pasta de papel en el proceso productivo que permita conocer el porcentaje de humedad de la pasta en tiempo real, para lograr un mayor control en la calidad del proceso productivo.
- Implementación de una caldera adicional para compensar trabajo cuando se presenten daños sin detener la producción o se requiera programar mantenimientos preventivos que puedan demorar días de ejecución.

Referencias

- Burgasí, D., Cobo, P., Pérez, S., Pilacuan, P., & Rocha, G. (julio de 2021). *Revista electrónica TAMBARA*. Recuperado el 2023, de https://tambara.org/wp-content/uploads/2021/04/DIAGRAMA-ISHIKAWA_FINAL-PDF.pdf
- Coletti, J., Miranda, G., & Iwakiri, S. (marzo de 2010). *Evaluation of the production process of lamella for engineered wood floor using quality control instruments*. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/aa/a/x8FNPvqkxK3xq3ShZnf38fG/#>
- Cruz, R., Mar, O., Pérez, S., Ortiz, M., & Lince, O. (noviembre de 2014). Uso de TRIZ, VOC y QFD como herramientas para el diseño de nuevos productos. *Cujae*, págs. 1-7. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45780730/2.1.4.2_Articulo_2014_CUJAE_TRIZ_VOC-libre.pdf?1463679411=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUSO_DE_TRIZ_VOC_Y_QFD_COMO_HERRAMIENTAS.pdf&Expires=1689409738&Signature=Edjn0SmLOcyMnW41jc64LDLFvW
- López, N. (2022). Gráficos de control para la monitorización conjunta del tiempo entre eventos y su amplitud con amplitudes multidimensionales. *Universidad Politécnica de Valencia*, págs. 4-8. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188108/Secaduras%20%20Graficos%20de%20control%20para%20la%20monitorizacion%20conjunta%20del%20tiempo%20entre%20eventos%20y%20su%20amp....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ríos, G., Sánchez, G., & González, R. (27 de junio de 2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma. *Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, págs. 1-18. Obtenido de <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/174245/1/877858225.pdf>
- Sales, M. (2013). Diagrama de Pareto. *EALDE Business School*, págs. 1-8. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44144377/Diagramde_pareto-libre.pdf?1459094480=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DDiagrama_de_Pareto.pdf&Expires=1689410317&Signature=
aIHVKbifkGoJcUugk~hTvuV8UD0D~RHc0CdWXifOCW1r5C2fy-wco8l-HuxC8pFWSvM

Vigilio, C., & Loyola, B. (2018). La metodología six sigma y su influencia en la productividad del
procesosoldadura de válvulas body en la empresa EIMEN S.A.C. *UNIVERSIDAD NACIONAL
HERMILIO VALDIZÁN*, págs. 25-26. Obtenido de
[https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3292/TII%2000140%20V61.
pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3292/TII%2000140%20V61.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Apéndice A

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS
¿Por qué la mesa de formación falla?		¿Por qué las bombas de vacío suelen presentar fallos y dejan de funcionar?		¿Por qué se dañan las bandas de la bomba de vacío?		¿Por qué no son revisadas hasta que se da un falló crítico que las compromete?	
Porque las bombas de vacío suelen presentar fallos y dejan de funcionar	Sí	Porque se dañan las bandas de la bomba de vacío	Sí	Porque no son revisadas hasta que se da un falló crítico que las compromete	Sí	No se establecen revisiones frecuentes preventivas del equipo	Sí
				¿Por qué se obstruye con sedimentos la bomba de vacío?		¿Por qué hay falta de limpieza en la mesa de formación?	
		Se obstruye con sedimentos la bomba de vacío	Sí	Falta de limpieza en la mesa de formación	Sí	No se establece una frecuencia para realizar limpieza en la mesa de formación	Sí
		¿Por qué el sistema de dosificación de chorro de pasta falla?		¿Por qué los conductos se obstruyen con sedimentos?			
El sistema de dosificación de chorro de pasta falla	Sí	Los conductos se obstruyen con sedimentos	Sí	No se establece una frecuencia para realizar limpieza en el sistema de dosificación de chorro de pasta	Sí		

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS	RONDA 4	HIPÓTESIS	RONDA 5	HIPÓTESIS
¿Por qué los rodillos de secado pierden temperatura?	Sí	¿Por qué se baja la presión en la caldera?	Sí	¿Por qué falla la combustión en la caldera?	Sí	¿Por qué el combustible bunker se encuentra muy sucio?	Sí		
Porque se baja la presión en la caldera		Falla en la combustión en la caldera		Combustible bunker se encuentra muy sucio		Viene sucio desde el proveedor			
						Se sedimenta en los tanques de almacenamiento	Sí		
				¿Por qué falla la combustión en la caldera?	Sí	¿Por qué hay mala calibración de la caldera?	Sí	¿Por qué la caldera se calibra a prueba y error?	Sí
				Mala calibración de la caldera		Caldera se calibra a prueba y error		No hay instructivo establecido para calibrar la caldera	

RONDA 1	HIPÓTESIS	RONDA 2	HIPÓTESIS	RONDA 3	HIPÓTESIS
¿Por qué el sistema de vapor de calderas pierde presión?	Sí	¿Por qué se baja la presión en la caldera?	Sí	¿Por qué el combustible bunker se encuentra muy sucio?	No
Falla en la combustión en la caldera		Combustible bunker se encuentra muy sucio		Viene sucio desde el proveedor	
				Combustible se sedimenta en los tanques de almacenamiento de la empresa	Sí
¿Por qué las bobinas de PT no tienen lugar adecuado para almacenarlas?	Sí	¿Por qué las bobinas PT son almacenadas en un galpón abierto?	Sí		
Porque las bobinas PT son almacenadas en un galpón abierto		Bobinas de PT no tienen lugar adecuado y fijo para ser almacenadas			