

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del costo de producción en la etapa de molienda de la línea de alimento balanceado para mascotas.

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero industrial

Presentado por:

Carlos Stick Paez Quiroz

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi madre Jessenia Quiroz y a mi abuela Elvia Quito que me han apoyado incondicionalmente durante todo el desarrollo de mi carrera profesional a pesar de todas las dificultades que se han presentado durante este largo camino, siempre atesorare sus consejos y sabias palabras que me han guiado por un buen camino al día de hoy.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme lograr mis metas, a mi tutora que gracias a sus comentarios y recomendaciones este proyecto ha resultado exitoso, y a todas aquellas personas que han colaborado de una u otra manera al desarrollo y finalización de este proyecto.

Declaración Expresa

Yo, Carlos Stick Páez Quiroz acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

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



Carlos Stick Páez
Quiroz

Evaluadores

MSc. Sofia López Iglesias

Profesor de Materia

MSc. Ingrid Adanaqué Bravo

Tutor de proyecto

Resumen

El proceso de molienda es vital para las empresas productoras de granos y otros tipos productos agrícolas, este proyecto tiene como objetivo reducir el costo del proceso de molienda en la línea de producción de una empresa agrícola mediante el uso de la metodología DMAIC, es importante reducir el costo del proceso de molienda debido a los inconvenientes que le causan a la compañía y a la producción en general de la empresa, se utilizó las herramientas VOC, CTQ y SAP para la definición del problema de la empresa, también para el análisis de información se hizo uso del diagrama de Ishikawa, lluvia de ideas, matriz de causa-efecto y la metodología 5 porque's para la definición de causas raíces. Las soluciones propuestas mostraron una reducción del 2.43% en el costo del proceso de molienda por tonelada molida, igualmente se redujo el cambio de martillos de 7 a 2 en un periodo de 2 meses lo cual resulto en un aumento del 11.03% en el índice de disponibilidad, una disminución del 69.91% en la cantidad de martillos enviados a chatarrizar, por lo que concluye que existe una mejora en el proceso luego de la implementación de la metodología DMAIC.

Palabras Clave: Proceso de molienda, DMAIC, Costo, herramientas.

Abstract

The grinding process is crucial for grain-producing companies and other types of agricultural products. This project aims to reduce the cost of the milling process in the production line of an agricultural company using the DMAIC methodology. It is important to decrease the cost of the milling process due to the inconveniences it causes to the company and overall production. Tools such as VOC (Voice of the Customer), CTQ (Critical to Quality), and SAP were employed to define the company's problem. Additionally, for information analysis, the Ishikawa diagram, brainstorming, cause-and-effect matrix, and the 5 Whys methodology were used to identify root causes. The proposed solutions showed a 2.43% reduction in the cost of the milling process per ton. Similarly, the hammer replacement was reduced from 7 to 2 within a 2-month period, resulting in an 11.03% increase in availability index. There was also a 69.91% decrease in the quantity of hammers sent for scrapping. In conclusion, it is affirmed that there is an improvement in the process after the implementation of the DMAIC methodology.

Keywords: Grinding process, DMAIC, Cost, Tools.

Índice general

Resumen	i
Abstract	ii
Abreviaturas	vi
Simbología	vii
Índice de figuras	viii
Índice de tablas.....	x
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.2.1 Requerimientos.....	2
1.2.2 Métricas de sostenibilidad.....	4
1.2.3 Variables de interés	5
1.2.4 Serie de tiempo de variable predictora.....	5
1.2.6 Planteamiento del problema enfocado.	6
1.2.7 Objetivo SMART.	7
1.2.8 Alcance del proyecto.	7
1.2.9 Restricciones.	8
1.3 Justificación del Problema	8
1.4 Objetivos	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Marco teórico	9
1.5.1 Seis sigma.....	9
1.5.2 DMAIC.....	9
1.5.3 VOC.	10
1.5.4 SMART.	10
1.5.6 Proceso de molienda.....	10
1.5.6 SIPOC.....	11
1.5.7 Critical To Quality	11
Capítulo 2	12
2.1 Metodología.	13
2.2 Medición.....	13
2.2.1 Plan de recolección de datos.	13
2.2.2 Verificación de datos.....	17

2.2.3 Estratificación y problema enfocado.....	18
2.3 Análisis.....	20
2.3.1 Lluvia de ideas.....	20
2.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	20
2.3.3 Matriz de causas - efecto.....	21
2.3.4 Selección de causas.....	22
2.3.5 Plan de verificación de datos.....	23
2.3.6 Metodología 5 WHY'S.....	26
2.4 Mejora.....	29
2.4.1 Soluciones de causa raíz 1.....	29
2.4.2 Soluciones de causa raíz 2.....	31
2.4.3 Soluciones de causa raíz 3.....	33
2.4.4 Criterios para selección de soluciones.....	34
2.4.5 Cotización de soluciones.....	35
2.4.6 Selección de propuestas en base a esfuerzo.....	35
2.4.7 Selección de propuestas en base a impacto.....	36
2.4.8 Matriz impacto – esfuerzo.....	37
2.4.9 Plan de implementación.....	37
Capítulo 3.....	38
3.1 Resultados y análisis.....	39
3.1.1 Solución 1: Plancha naval de 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.....	39
3.1.1.1 Simulación.....	39
3.1.1.2 Análisis de costos.....	40
3.1.1.3 Verificación estadística.....	42
3.1.1.4 Plan de control y seguimiento.....	43
3.1.2 Solución 6 y solución 7.....	43
3.1.2.1 Prueba del sistema de vibraciones.....	43
3.1.2.2 Implementación de alarmas en el sistema de cabina 12-14.....	45
3.1.2.3 Resultados a futuro de solución 6 y 7.....	45
3.1.2.4 Análisis de costos.....	46
3.1.2.5 Plan de control y seguimiento solución 6.....	47
3.1.2.6 Plan de control y seguimiento para solución 7.....	48
3.1.3 Análisis métricas de sostenibilidad.....	48
3.1.3.1 Aspecto económico.....	48

3.1.3.2 Aspecto Social.....	48
3.1.3.3 Aspecto Ambiental.....	48
Capítulo 4.....	49
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	50
4.1.1 Conclusiones	50
4.1.2 Recomendaciones.....	50
Referencias	51

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

CTQ Critical to Quality

VOC Voice of Customer

Simbología

kg	kilogramo
T	Tonelada
mm	Milímetro
A	Amperio
Mpa	Megapascal
HB	Dureza Brinell
mm ³	Milímetro cubico
s	Segundo

Índice de figuras

Figura 1 <i>Voz del cliente</i>	3
Figura 2 <i>Diagrama de afinidad</i>	3
Figura 3 <i>CTQ</i>	4
Figura 4 <i>Triple Botton line</i>	5
Figura 5 <i>Serie de tiempo de variable predictora</i>	6
Figura 6 <i>Herramienta 3W +5H</i>	6
Figura 7 <i>Objetivo SMART</i>	7
Figura 8 <i>Diagrama SIPOC del proceso</i>	7
Figura 9 <i>Proceso de molienda</i>	11
Figura 10 <i>Medición de datos de molienda</i>	15
Figura 11 <i>Datos de molienda medidos</i>	15
Figura 12 <i>Cálculo de costo del proceso por cada tonelada molida</i>	16
Figura 13 <i>Toma de datos en la cabina de la línea 12-14</i>	17
Figura 14 <i>Costo de los martillos</i>	17
Figura 15 <i>Registro de porcentaje de retenido por producto</i>	18
Figura 16 <i>Costo del consumo de energía por molino</i>	18
Figura 17 <i>Porcentaje de cantidad de cambios de martillos en la línea por molino</i>	19
Figura 18 <i>Serie de tiempo del costo del proceso de molienda en el molino 22200</i>	19
Figura 19 <i>Lluvia de ideas del problema enfocado</i>	20
Figura 20 <i>Proceso de molienda</i>	21
Figura 21 <i>Diagrama de Pareto para selección de causas</i>	22
Figura 22 <i>Primera alarma de cambio de martillo</i>	25
Figura 23 <i>Recubrimiento de martillos</i>	30
Figura 24 <i>Sensores de vibración en el molino</i>	31
Figura 25 <i>Grafica de vibraciones</i>	32
Figura 26 <i>Diseño de ventanas de alarmas</i>	33
Figura 27 <i>Matrix impacto-esfuerzo</i>	37
Figura 28 <i>Simulación de mejora</i>	39
Figura 29 <i>Grafico de intervalos</i>	42
Figura 30 <i>Prueba de Mann-Whitney U</i>	43
Figura 31 <i>Prueba de sensores de vibraciones 1</i>	44
Figura 32 <i>Prueba de sensores de vibraciones 2</i>	44
Figura 33 <i>Sistema de cambios de martillos por alarmas</i>	45

Figura 34 <i>Costo de consumo de energía antes de implementación 2 y 3</i>	46
Figura 35 <i>Costo de consumo de energía después de implementación 2 y 3</i>	46

Índice de tablas

Tabla 1 Plan de recolección de datos	14
Tabla 2 Matrix de ponderación de causa – efecto	21
Tabla 3 Plan de verificación de datos.....	23
Tabla 4 Comparación de costos de martillos por cambios.....	24
Tabla 5 Comparación de costos por porcentaje de retenido.....	24
Tabla 6 Metodología 5 WHY’S de la causa R1.	26
Tabla 7 Metodología 5 WHY’S de la causa R2	27
Tabla 8 Metodología 5 WHY’S de la causa R4	28
Tabla 9 Metodología 5 WHY’S de la causa R5	28
Tabla 10 Causas raíces del problema enfocado.....	29
Tabla 11 Materiales para composición de nuevos martillos	29
Tabla 12 Opciones de martillos y sus recubrimientos.....	31
Tabla 13 Pesos de martillos.....	33
Tabla 14 Criterios de selección	34
Tabla 15 Valores de ponderación de impacto	34
Tabla 16 Cotización de soluciones.....	35
Tabla 17 Ponderación de esfuerzo.....	35
Tabla 18 Ponderación de impacto	36
Tabla 19 Plan de implementación	37
Tabla 20 Resultados de simulación.....	40
Tabla 21 Costo del proceso por tonelada del escenario 1	41
Tabla 22 Costo del proceso por tonelada del escenario 2	41
Tabla 23 Comparativa de costos totales	42
Tabla 24 Plan de control para solución 1	43
Tabla 25 Análisis de costos de solución 6 y 7.....	47
Tabla 26 Plan de control para solución 2	47
Tabla 27 Plan de control para solución 3	48

Capítulo 1

1.1 Introducción

La industria ecuatoriana de alimentos siempre ha sido un pilar fundamental en la economía del país, lo cual ha llevado a varias empresas dentro de esta industria a querer mejorar y alcanzar un nivel más alto de producción, lo cual a su vez conlleva el incremento de costos de los procesos que se llevan a cabo para poder obtener el producto final y que este logre cumplir con las especificaciones dadas por la empresas, varios de estos procesos son muy fundamentales y entre ellos se encuentra el proceso de molienda, el cual es uno de los primeros pasos para la producción del producto final.

En el presente proyecto se tiene como meta final el poder disminuir el costo del proceso de molienda al largo plazo en una línea de producción de productos alimenticios para mascotas, utilizando la metodología DMAIC para poder llegar a la raíz del problema e incrementar la utilidad generada por la empresa.

1.2 Descripción del Problema

El proyecto surge de la necesidad de una empresa de insumos agrícolas, pecuarios y acuícolas reconocida en el mercado ecuatoriano enfocados en la importación, distribución y ventas de sus productos, el problema surge en una de sus plantas ubicadas en el Km 4 ½ Vía Duran enfocadas en productos balanceados para animales, más específicamente en la línea 12-14 de balanceado para mascotas donde cada línea posee 2 molinos dando un total de 4 molinos, durante la producción de los alimentos una de los primeros pasos en el proceso de molienda el cual tiene un costo muy elevado para la empresa, la cual desea poder disminuir el costo del proceso y averiguar cuáles son las causas que provocan el elevado costo del mismo.

1.2.1 Requerimientos

Para la definición del problema se identifica al cliente clave de la empresa el cual es el gerente de planta y a nuestros clientes internos más importantes, los cuales son el coordinador de

mantenimiento, los supervisores de mantenimiento mecánico y eléctrico y los operadores. Ellos serían los miembros del equipo con los cuales realizaremos una lluvia de ideas para conocer sus necesidades con respecto a la problemática, como se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1 *Voz del cliente*



Luego se agrupan las necesidades que tengan mayor afinidad como se puede observar en la figura 2 y en base a estos se realiza el CTQ para poder encontrar los indicadores críticos de calidad, además de definir nuestra variable primaria la cual sería el costo del proceso de molienda por cada tonelada molida, como se aprecia en la figura 3.

Figura 2 *Diagrama de afinidad*

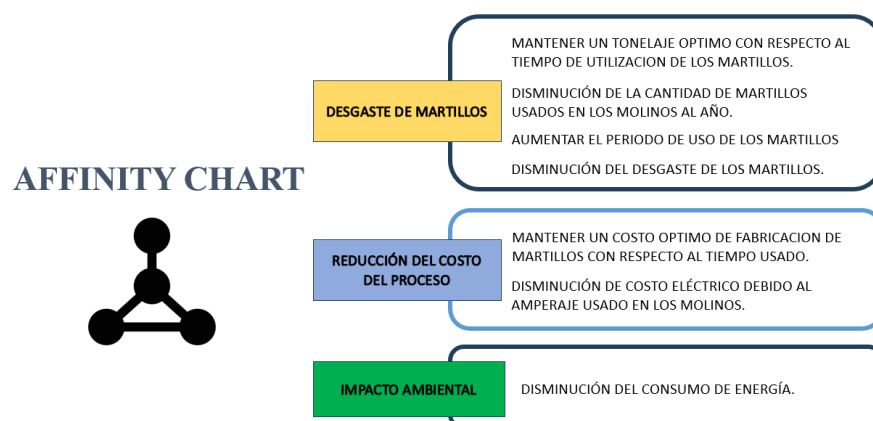
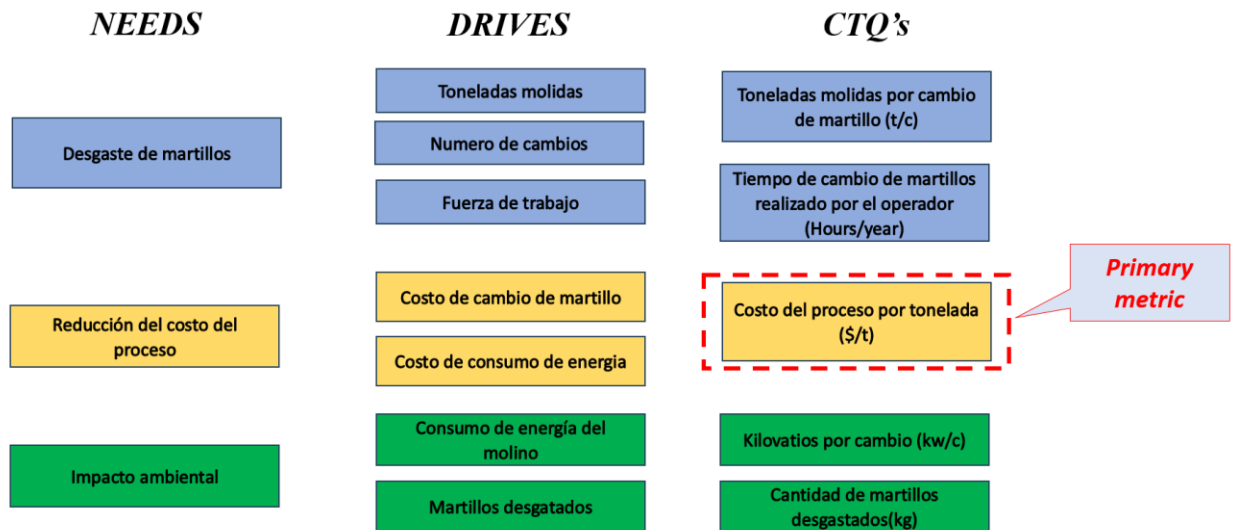


Figura 3 CTQ

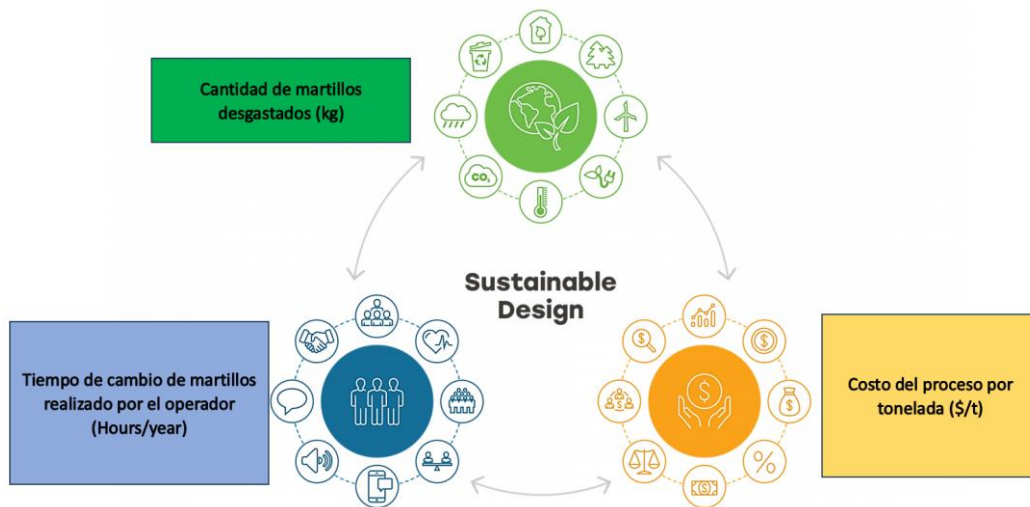


1.2.2 Métricas de sostenibilidad

Con los indicadores definidos con el CTQ se obtuvieron las métricas de sostenibilidad representativas de la empresa, las cuales son:

- Cantidad de martillos desgastados (kg): Este es el indicador ambiental el cual medirá cual es la cantidad de martillos que son mandados a “chatarrizar” y por lo cual se genera más chatarra por los martillos a largo plazo utilizados, debido a la cantidad de cambios que se realizan.
- Tiempo de cambios de martillos realizado por el operador (Hours): Este es el indicador social que medirá cuanto tiempo al año, el operador encargado de los molinos realiza los cambios de los mismos.
- Índice de disponibilidad (%): Este es el indicador económico con el cual se medirá cuanto tiempo estará disponible el molino para realizar el proceso de molienda, con lo cual entre más tiempo tenga disponible mayor será la producción y las ventas.

Figura 4 Triple Botton line



1.2.3 Variables de interés

Como ya se ha definido anteriormente, la variable predictora seleccionada es la que representa el costo del proceso de molienda por cada tonelada molida (\$/t), la cual está compuesta por un costo variable y costo fijo que son el costo de martillos por tonelada y el costo de consumo de energía por tonelada respectivamente.

$$Y = \text{Costo del proceso de molienda por cada tonelada molida (\$/t)} \quad (1.1)$$

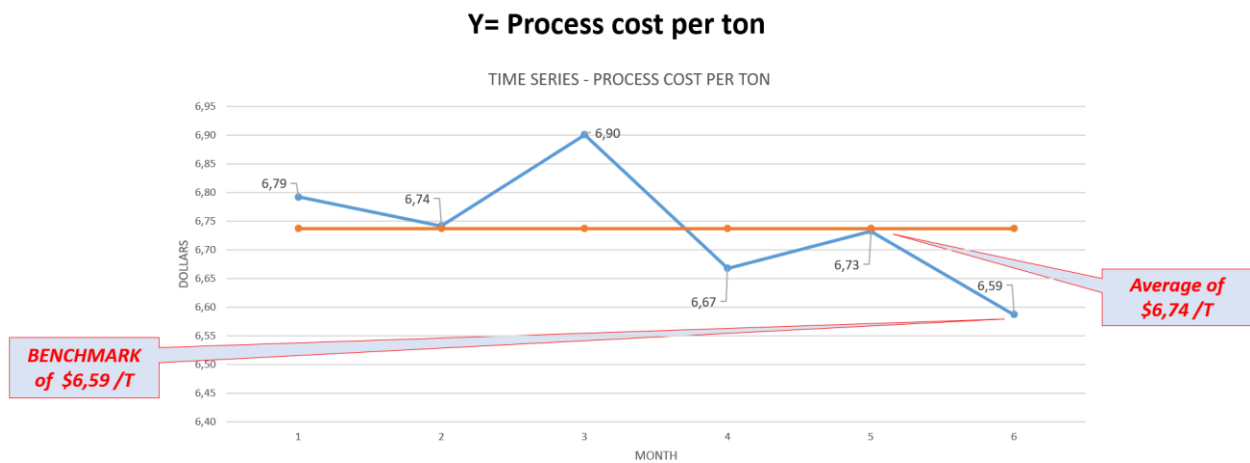
$$Y = \frac{\text{Costo de martillo}}{\text{tonelada}} + \frac{\text{Costo de consumo de energia}}{\text{tonelada}} \quad (1.2)$$

Con esta variable se medirá cuánto cuesta el proceso cada vez que se muele una tonelada.

1.2.4 Serie de tiempo de variable predictora

Utilizando los datos históricos del consumo de energía y del costo de los martillos del proceso de molienda desde los meses de abril a septiembre de 2023, con esto se obtuvo el costo del proceso de molienda durante ese intervalo de tiempo, con estos datos históricos se logra obtener un promedio de \$6.74/T y un dato inferior al mismo con un valor de \$6.59/T el cual fue considerado como el bechmark del proyecto, como se puede apreciar en la figura 8.

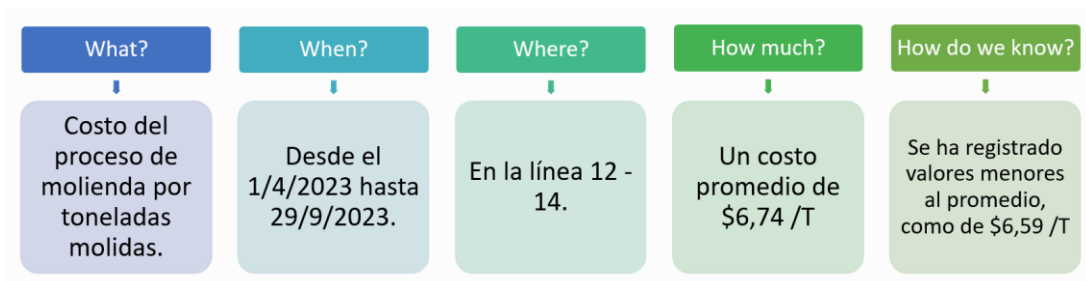
Figura 5 Serie de tiempo de variable predictora



1.2.6 Planteamiento del problema enfocado.

Con los datos obtenidos se procede a usar la herramienta 3W+ 5H para poder plantear de forma estructurada nuestra problemática.

Figura 6 Herramienta 3W +5H



A partir de estas respuestas podemos proceder a declarar el problema de la siguiente forma:

“Actualmente, durante el proceso de molienda, el costo del proceso por tonelada molida en la línea 12-14 de balanceado de mascotas, ha registrado un alto costo promedio de \$6.74 /T en los meses de abril a septiembre, la empresa quiere reducir el costo del proceso ya que se han registrado valores por debajo de la media, alcanzando hasta los \$6.59 /T”.

1.2.7 Objetivo SMART.

Para establecer nuestro objetivo SMART usamos el benchmark de \$6.59/T y el promedio de \$6.74/T encontrado en nuestros datos para calcular el GAP dando como resultado \$0.15/T, con esto se establece los casos y se elige el más ideal para el proyecto como se ve en la figura 10.

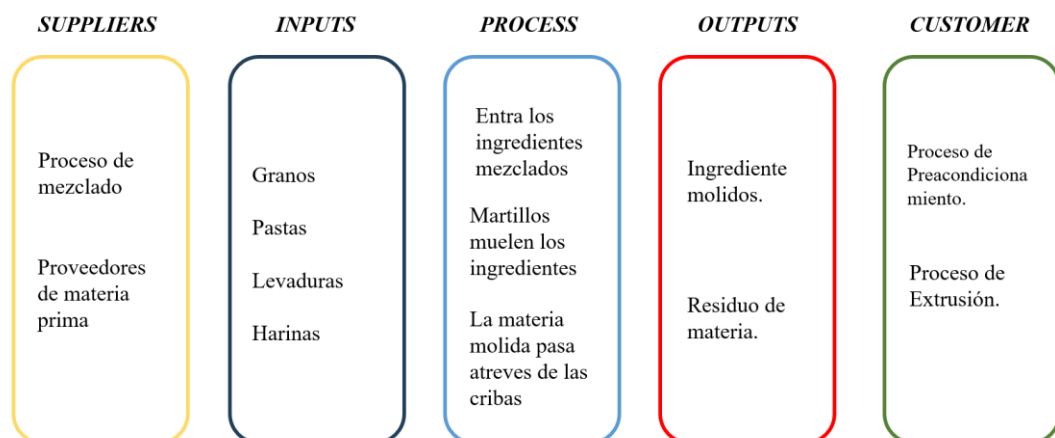
Figura 7 Objetivo SMART

		COST / TON
BENCHMARK		6,59
AVERAGE		6,74
GAP		0,15
ESCENARIOS		
Worst	30%	6,70
Ideal	50%	6,67
Best	100%	6,59

1.2.8 Alcance del proyecto.

Se realizó un diagrama SIPOC para conocer los elementos claves del proceso de molienda como los proveedores, los insumos utilizados, y aquellos procesos que reciben lo realizado por el proceso de molienda como se puede observar en la figura 11.

Figura 8 Diagrama SIPOC del proceso



En este diagrama se tomó en cuenta la importancia de los ingredientes introducidos en el proceso.

1.2.9 Restricciones.

- Límite de costos/beneficio: El objetivo de la empresa es poder disminuir los costos por lo que las ideas a implementar deben presentar una utilidad mayor a la empresa.
- Límite de implementos: No se puede realizar compras de elementos que aumente los costos a menos que se demuestre que los beneficios son mayores.
- Límite de acción en áreas de la empresa: No se realizar cambios fuera de las actividades y responsabilidades del área de mantenimiento.

1.3 Justificación del Problema

La reducción del costo del proceso de molienda es vital para reducir los costos de la línea de balanceado de mascotas, ya que este se ha convertido en un problema para la empresa debido a lo elevado que resulta ser el costo del mismo por lo que es urgente resolver el problema y para esto se utilizara las herramientas de mejora continua entre otras herramientas específicas para así poder encontrar las causas de este alto costo y poder proponer soluciones que permitan suplir las necesidades del cliente, de esta manera se brindara a la empresa mayores utilidades y eficiencia en el proceso de molienda.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Reducir en un 50% el costo del proceso de molienda por tonelada molida en la línea 12-14 de balanceado de mascotas.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Revisar e identificar las causas del problema.
2. Análisis de los costes del proceso de molienda.
3. Proponer soluciones de mejora para el proceso de molienda.
4. Evaluar las propuestas de mejora de mayor impacto

1.5 Marco teórico

1.5.1 Seis sigma.

Es una metodología que presenta la importancia de reducir los errores, variación y defectos dentro de un proceso a través de una organización con el objetivo de aumentar la cuota del mercado, minimizar los costos e incrementar los márgenes de ganancia. La filosofía de calidad está basada en la asignación de metas alcanzables a corto plazo enfocados en objetivos a largo plazo, de la misma manera se enfoca en las necesidades y requerimientos del cliente para la mejora continua de toda la empresa (Fermin Gomez Fraile, 2003), , también tiene como objetivo la mejora de los procesos asociados a los errores y variación que se encuentre durante el proyecto lo cual también brinda una mejora entre varias áreas dentro de las empresas lo cual puede ocasionar una exportación de las soluciones planteadas en un área hacia otra (Luis Socconini, 2019).

1.5.2 DMAIC.

Es una metodología que se utiliza para abordar problemas complejos cuya solución no se vislumbra a simple vista, y está orientada a la maximización de las ganancias de la empresa, su principal función es el análisis e identificación de problemas y planes de acción (Martinez, 2013). DMAIC cuenta con 5 etapas:

- D: Definir el problema a resolver.
- M: Medir las variables de interés del proceso y que afecten al problema.
- A: Analizar las posibles causas del problema.
- I: Implementar mejoras que solvente la problemática definida.
- C: Controlar y dar seguimiento a las mejoras implementadas para evaluar su rendimiento.

Estas etapas nos proveerán de información útil durante todo el desarrollo del proyecto garantizando así mejoras o soluciones al problema en cuestión incluso luego de la terminación del proyecto en cuestión (K. Srinivasan, 2016)

1.5.3 VOC.

Es una herramienta que se utiliza para poder relacionar los deseos del cliente, expresados en lenguaje coloquial, con las características de calidad del producto o servicio, expresados en lenguaje técnico, para ello es necesario completarse con herramientas como Lluvia de ideas o Focus Group que permitirán el conocer las necesidades del cliente con respecto a la problemática del proyecto (Pedro Grima Cintas, 1995).

1.5.4 SMART.

Es una metodología que sirve para poder definir metas para un determinado proyecto, estas metas deben cumplir con las características de ser específicas, medibles, alcanzables y relevantes a plazo determinado, ya que esto permite crear un enfoque claro y conciso sobre un objetivo en particular y emplear los esfuerzos y recursos al logro de dicho objetivo (Seoane, 2023), , También permite realizar un planeamiento estratégico como modelo de gestión que permite realizar mejoras y optimaciones con respecto a las mejoras propuestas en un proyecto (Fische, Ferreira, Fernandez, & Tassara, 2018) .

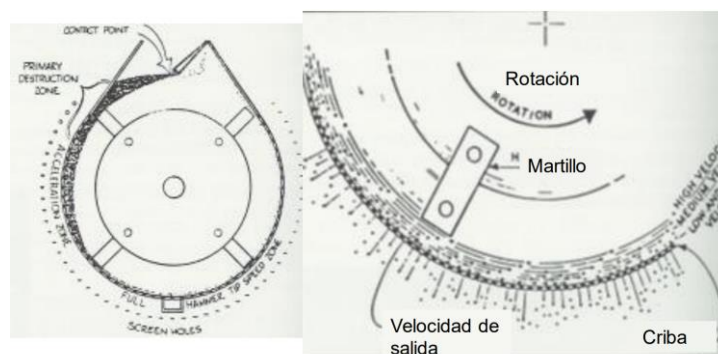
1.5.6 Proceso de molienda.

El proceso de molienda de granos es vital para las empresas productoras agrícolas, y principalmente para aquellas que manejan altos volúmenes de producción recaen en las necesidades de utilizar equipos como los molinos de martillos, rodillos, etc. para ampliar su producción y cumplir con la demanda (Cuadrado Moncayo & Rueda Castillo, 2009).

El proceso de molienda de la empresa inicia con el ingreso de la formula del producto ya mezclada, la cantidad entran por Batch el cual posee un peso determinado, y esta materia prima una vez entra en el molino son golpeadas repetidamente por los martillos contra la zona primaria

de destrucción primaria, esto generara que las partículas sean cada vez más pequeñas cumpliendo con la granulometría designada según el producto, una vez el grano sea el correcto este pasara a través de las cribas las cuales poseen un diámetro según sea el porcentaje de retenido del producto, de esta forma esa materia que paso cumple con los requisitos para la siguiente fase de la línea de producción, el proceso se puede apreciar en la figura 9 .

Figura 9 *Proceso de molienda*



1.5.6 SIPOC

Es una herramienta de calidad que permite identificar los elementos claves de un proceso, el proceso en el diagrama se divide en proveedores (S=Suppliers), Entradas (I=Inputs), proceso (P=Process), Salidas (O=Outputs) y Clientes (C=Customers). Esta herramienta ofrece muchas ventajas para poder identificar fabricas ocultas o partes del proceso que pueden estar afectando al rendimiento del proceso (Rasmusson, 2006).

1.5.7 Critical To Quality

Es una herramienta que nos permite cuantificar las necesidades del cliente previamente identificadas, estas necesidades se vera reflejada en la variable predictiva asignada con la cual se podrá medir el progreso del proyecto y de las soluciones, reflejando así la mejora del procesos luego de la implementación de las mejoras propuestas (KNOP, 2016)

Capítulo 2

2.1 Metodología.

La metodología aplicada en el proyecto fue la conocida DMAIC, debido a que es la más idónea para poder resolver la problemática de la empresa, ya que emplea técnicas y herramientas que permiten la identificación de causas del problema, la propuesta de soluciones óptimas y eficientes, además del control y seguimiento del desempeño de las propuestas aplicadas. DMAIC cuenta con 5 etapas a desarrollarse durante el proyecto, la etapa de Definición se encuentra en el capítulo 1 donde se utilizó para poder definir y describir el problema de la empresa, a su vez se utilizó para establecer los objetivos del proyecto.

En el presente capítulo se presentarán la etapa de Medición de los datos de interés para el proyecto y el Análisis de la información recolectada para la identificación de causas raíces potenciales y la propuesta de soluciones para la resolución del problema.

2.2 Medición.

En esta etapa se realizó la recopilación de datos mediante la creación de un plan de recolección de datos requeridos para poder entender el comportamiento actual del problema y como este se ha ido desarrollando, a su vez la medición nos permitió estratificar la información de modo que se pudo estratificar en distintos aspectos, así obteniendo un enfoque del problema en donde concentrar nuestros esfuerzos.

2.2.1 Plan de recolección de datos.

Se creo un plan de recolección de datos donde se especifica la información necesaria para el proyecto y con la cual se podrá medir las variables de interés definidas, en el plan se especificó lo que se va a medir, en que intervalo de tiempo, quien será el responsable de tomar los datos, como se obtendrán los datos y con que método, además de especificar la funcionalidad y utilidad de los mismos para el progreso del proyecto.

Tabla 1 *Plan de recolección de datos*

¿Qué datos necesitamos?	Tipo de datos	¿Cómo lo recogeremos?	Método	¿Dónde registraremos los datos?	¿Quién registrará los datos?	¿Cuándo?	¿Por qué necesitamos estos datos?
Toneladas producidas por cambio martillos (T)	Cuantitativo Continuo	Registrar la cantidad determinada en las ordenes de producción del molino.	Observación directa en cabina	Informe de molienda.	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Determinar las toneladas producidas por el molino antes del cambio de martillos
Amperajes consumidos por tonelaje producido (A)	Cuantitativo Continuo	Registrar el consumo en amperios en tiempo real en la cabina del molino.	Observación directa en cabina	Informe de molienda.	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Determinar el consumo de energía en el molino con respecto a la cantidad de tonelaje trabajado.
Ingredientes molidos en cada cambio.	Cualitativo	Registrar los ingredientes en las ordenes de producción del molino	Observación directa en cabina	Informe de molienda.	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Permite estimar como influyen los ingredientes en el desgaste de los martillos.
Frecuencia de cambios (días)	Cuantitativo Discreto.	Registrar los días entre cambios	Observación directa en cabina	Informe de cambios	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Permite conocer la media de tiempo entre cambios.
Cantidad de martillos desgastados (kg)	Cuantitativo Continuo	Registrar la cantidad de martillos entre cambios	Observación directa en cabina	Informe de cambios	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Permite conocer la cantidad
Costo de martillos	Cuantitativo Continuo	Revisar los registros de bodega	Observación directa.	Informe de cambios	Carlos S. Paez Quiroz	11/10/2023 a 23/11/2023	Para conocer el costo de martillos en el intervalo de tiempo establecido.

Los datos a tomar a consideración para el costo de consumo de energía de los 4 molinos son: El producto molido, las toneladas molidas, paradas (batch) las cuales se dividen en conjuntos según se encuentre agrupadas, amperaje consumido y las horas donde en la que ocurre la molienda siendo estos los tiempos iniciales y finales de cada conjunto de paradas, estos datos son tomados desde que se da un cambio de martillos hacia el siguiente cambio, como se muestra en la figura 10 y 11.

Figura 10 Medición de datos de molienda

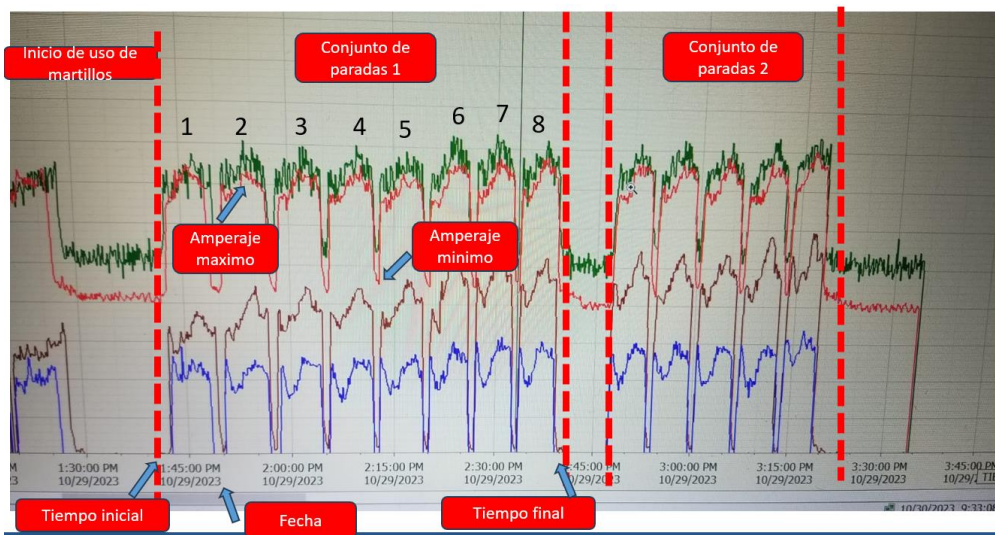


Figura 11 Datos de molienda medidos

FECHA	PRODUCTO	HORA INI	HORA FIN	HORAS DE BATCH	PESO (KG)	TONELAD.	H.I.CABINA	H.F.CABINA	TIEMPO TOTAL CONJUNTO	AMPERAJE MAX	AMPERAJE MIN	AMPERAJE PROMEDIO	KW	HOR		
11/10/2023	ALEON DOS FOOD AC	9:10	16:50	1	1485	1485	8:55	10:59	2:04	181.44	119.51	150.485	96178.99			
								11:31	14:12	2:41	181.6	123.47	152.535	97489.20		
								16:15	16:50	0:35	3	404.62	122.81	263.715	168547.31	
	THEO CACHORRO	17:17		2	1324	2648	17:17	17:43	0:26	366.5	122.63	244.565	156308.03			
								19:06	20:32	1:26	2	370.74	121.74	246.24	157378.57	
	BUENCAN ARMG	22:00	6:45	60	1514	90840	22:00	23:55	1:55	372.62	121.64	247.13	157947.39			
								1:07	2:45	1:38	2	360.71	121.35	241.03	154048.72	
								3:25	3:50	0:25	3	323.34	121.49	222.415	142151.38	
								4:08	4:40	0:32	4	290.69	121.74	206.215	131797.52	
								4:47	5:57	1:10	5	300.32	120.8	210.56	134574.53	
								6:06	6:48	0:42	6	284.11	121.19	202.65	129519.04	
								7:12	7:30	0:18	7	260.09	122.62	191.455	122364.01	
								7:40	8:17	0:37	8	275.75	121.46	198.615	126946.16	
12/10/2023	BUENCAN ARMG CAR	8:00	10:35	7	1371	9597	9:30	9:52	0:22	279.46	120.98	200.22	127965.96			
								10:04	10:35	0:31	2	276.11	120.28	198.195	126671.73	
	BUENCAN ARMG POLI	10:53	14:45	61	1370	83570	10:53	11:15	0:22	278.29	117.7	197.995	126543.90			
								11:25	13:15	1:50	2	266.78	118.49	192.825	121111.79	
								13:27	13:58	0:31	3	243.55	119.04	181.295	115870.48	
								14:05	14:19	0:14	4	235.45	123.47	179.46	114897.69	
								14:36	14:45	0:09	5	233.11	120.51	178.81	113004.00	
	SANTA MARIA ADULT	14:58	16:40	1	1424	1424	14:58	15:20	0:22	228.29	121.64	174.965	111824.61			
								16:19	16:41	0:22	2	230.69	121.41	176.05	112318.26	
	THEO GATO	17:20	18:40	1	1287	1287	17:44	18:43	0:59	237.72	119.85	178.785	114266.28			
	MICHU POLLO	18:57	20:00	19	1335	25365	19:20	22:30	3:10	293.46	117.87	205.665	131446.00			
								0:42	5:42	5:00	3	290.39	120.22	205.305	131215.92	
								6:00	7:14	1:14	4	295.83	117.81	206.72	130320.28	
											194.365	124223.87				

Una vez medidos los niveles de amperaje alcanzados durante la molienda se obtiene los kilovatios consumidos por el molino utilizando la ecuación 1.3.

$$KW = \sqrt{3} * V * I * COS\phi \quad (1.3)$$

Una vez con estos datos podremos calcular cuánto es el costo por hora usando el valor de 0.077 centavos dados por la empresa, teniendo este valor procedemos a hacer la conversión en dólares y dividir por la cantidad de toneladas que se molió en la hora calculado, de esta forma obtenemos el costo de consumo de energía por cada tonelada molida como se puede apreciar en la figura 11.

Figura 12 *Cálculo de costo del proceso por cada tonelada molida*

KW	HORAS	KW/H	PARADAS	PARADA*1.35	COSTO/CENTAVOS	COSTO/ DOLARES	COSTO/TONELADAS
96178,99	2,07	198769,91	14	18,9	15305,28	153,05	8,10
97489,20	2,68	261596,02	15	20,25	20142,89	201,43	9,95
168547,31	0,58	98319,26	6	8,1	7570,58	75,71	9,35
156308,03	0,43	67733,48	5	6,75	5215,48	52,15	7,73
157378,57	1,43	225575,95	16	21,6	17369,35	173,69	8,04
157947,39	1,92	302732,50	16	21,6	23310,40	233,10	10,79
154048,72	1,63	251612,91	16	21,6	19374,19	193,74	8,97
142151,38	0,42	59229,74	4	5,4	4560,69	45,61	8,45
131797,52	0,53	70292,01	6	8,1	5412,48	54,12	6,68
134574,53	1,17	157003,62	11	14,85	12089,28	120,89	8,14

Con esto valores obtenidos se procede a obtener una constante de consumo de energía por cada tonelada molida la cual sería el promedio de todos los valores obtenidos, dando como resultado una constante de \$6.39/tonelada para el molino 22200, \$6.11/tonelada para el molino 22100, \$6.43/tonelada para el molino 21200 y \$5.94/tonelada para el molino 21 100.

Con estos mismos datos se midió la cantidad de días que habían pasado desde que se cambió los martillos en los 4 molinos hacia el siguiente cambio, con esto se obtuvo una duración de 19 días, pero si solo se toma en cuenta las horas en que los martillos habrían estado moliendo obtenemos un total de 152.45 horas lo cual equivale a 6.33 días.

2.2.2 Verificación de datos.

Los datos fueron tomados tanto en la cabina de operaciones de la línea 12-14, donde estos se proyectaban en la gráfica de amperaje de los molinos, como también de los registros propios que poseía la empresa, la evidencia de toma de datos se demuestran a continuación en las siguientes figuras.

Figura 13 Toma de datos en la cabina de la línea 12-14

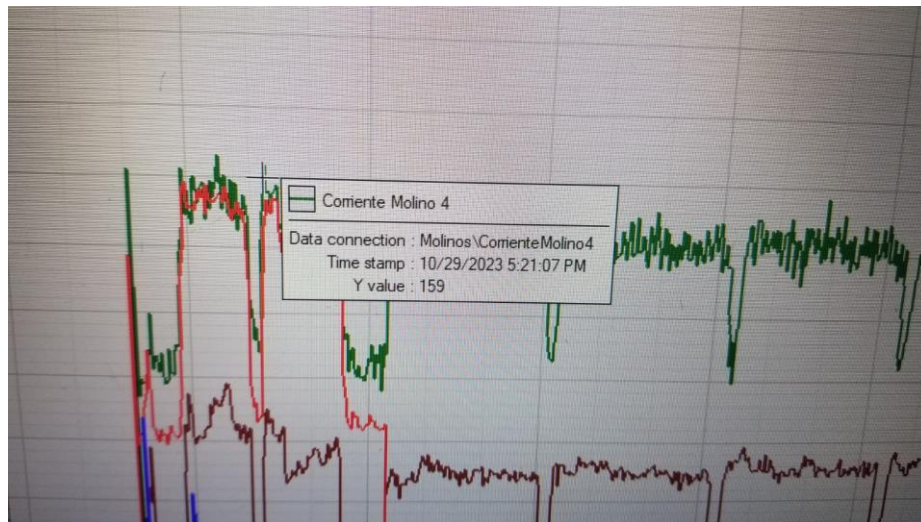


Figura 14 Costo de los martillos

Orden	Fecha lab.	Materia	Alta	CMV	Doc. material	Texto breve de material	x	Orden UME	UME	Lote	Usuario	Fecha doc.	Registrado el	Referencia	Co.	IGMat	Importe M. D
	30.09.2023	8004562	0011	993	4922352671	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	30.09.2023	30.09.2023		0062	2023	495.09
	21.09.2023	8004562	0011	993	4922352671	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	30.09.2023	30.09.2023		0062	2023	699.00
	14.09.2023	8004562	0011	101	5001889607	MARTELO 175x60x9MM 131	7,800	UN			EMARGARY	21.09.2023	21.09.2023		0062	2023	22,743.60
	14.09.2023	8004562	0011	993	4922735263	MARTELO 175x60x9MM 131	150	UN			EMARGARY	14.09.2023	14.09.2023		0062	2023	510.30
		8004562	0011	993	4922735266	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	14.09.2023	14.09.2023		0062	2023	696.41
		8004562	0011	993	4922735264	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	14.09.2023	14.09.2023		0062	2023	696.42
	31.08.2023	8004562	0011	993	4922585724	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	31.08.2023	31.08.2023		0062	2023	696.41
	31.08.2023	8004562	0011	993	4922585649	MARTELO 175x60x9MM 131	125	UN			EMARGARY	21.08.2023	21.08.2023		0062	2023	419.72
	09.08.2023	8004562	0011	993	4922513841	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	09.08.2023	09.08.2023		0062	2023	696.42
	31.07.2023	8004562	0011	993	4922484921	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	31.07.2023	31.07.2023		0062	2023	510.30
		8004562	0011	993	4922448914	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	31.07.2023	31.07.2023		0062	2023	696.41
		8004562	0011	993	4922448336	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	31.07.2023	31.07.2023		0062	2023	696.42
	24.07.2023	8004562	0011	993	4922401627	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	24.07.2023	24.07.2023		0062	2023	696.42
		8004562	0011	993	4922401620	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	24.07.2023	24.07.2023		0062	2023	696.42
	05.07.2023	8004562	0011	993	4922352043	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	05.07.2023	05.07.2023		0062	2023	510.30
	29.06.2023	8004562	0011	993	4922240669	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	29.06.2023	29.06.2023		0062	2023	696.42
		8004562	0011	993	4922240666	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	29.06.2023	29.06.2023		0062	2023	510.30
	22.06.2023	8004562	0011	993	4922201095	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	22.06.2023	22.06.2023		0062	2023	510.30
	19.06.2023	8004562	0011	993	4922177160	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	19.06.2023	19.06.2023		0062	2023	696.42
	16.06.2023	8004562	0011	993	4922161660	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	16.06.2023	16.06.2023		0062	2023	696.42
	12.06.2023	8004562	0011	993	4922137544	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	12.06.2023	12.06.2023		0062	2023	510.30
	30.05.2023	8004562	0011	993	4922101610	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	30.05.2023	30.05.2023		0062	2023	510.30
	17.05.2023	8004562	0011	993	4921962011	MARTELO 175x60x9MM 131	200	UN			EMARGARY	17.05.2023	17.05.2023		0062	2023	709.40
		8004562	0011	993	4921962011	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	17.05.2023	17.05.2023		0062	2023	510.41
	15.05.2023	8004562	0011	993	4921925415	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	15.05.2023	15.05.2023		0062	2023	510.41
	06.05.2023	8004562	0011	993	4921925415	MARTELO 175x60x9MM 131	152	UN			EMARGARY	06.05.2023	06.05.2023		0062	2023	510.41

Figura 15 Registro de porcentaje de retenido por producto

655/02 04/95 Fw: RETENIDOS EN ALIMENTOS DE MASCOTAS : analistapocas@agropac.com.ec - Centro de Agropac S.A.

Se adjunta tabla de retenidos, la misma que fue entregada al supervisor para su difusión.

ESPECIFICACIONES DE RETENIDOS (malla 60)		
REFERENCIA	MAX DE RETENIDO	MAX DE RETENIDO ESTANDARIZADO
Alimento Perros economico	Balancan, Ta Riko, Alcon, Rosado	40%
Alimento Perros standard	Pure Nature, Buen Can, Sta. Maria, Theo perros	35%
Alimento Perros premium	Nutra Pro, <i>Perzeta</i>	30%
Alimento Perros super premium	Wellness	15%
Alimento gatos standar	Michu, Mi Comisariato, Ta Riko, Theo gatos	35%
Alimento gatos premium	Nutra Pro	30%
Alimento gatos super premium	Wellness	15%
Alimento peces pulverizado	Fishpac (Tilapia 38%, Trucha 46%)	15%
Alimento peces molinos	Fishpac (Tilapia 24,28,32%; Trucha 40%)	25%
Trocitos suaves	Doggy	25%

2.2.3 Estratificación y problema enfocado.

Para la estratificación del problema se tomaron 2 criterios, el primero con respecto al consumo de energía de cada molino durante el periodo donde se tomaron los datos y evaluar cual de estos consumió más energía y como esto afecta al costo de proceso de molienda.

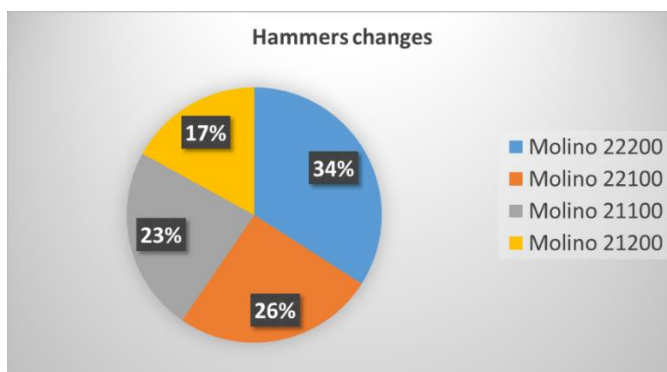
Como se puede apreciar en la figura 16, no existe una gran diferencia entre los consumos de energía de cada molino por lo que se considera que no hay razón para seleccionar un molino en específico en base en estos resultados.

Figura 16 Costo del consumo de energía por molino

ENERGY CONSUMPTION COSTS PER TON	
MILL	COST
M22200	6,39
M22100	6,11
M21200	6,43
M21100	5,94

El otro criterio utilizado fue la cantidad de cambios de martillos realizados desde los meses de abril a septiembre en cada molino de la línea 12-14, con los datos recopilados se pudo obtener la siguiente grafica.

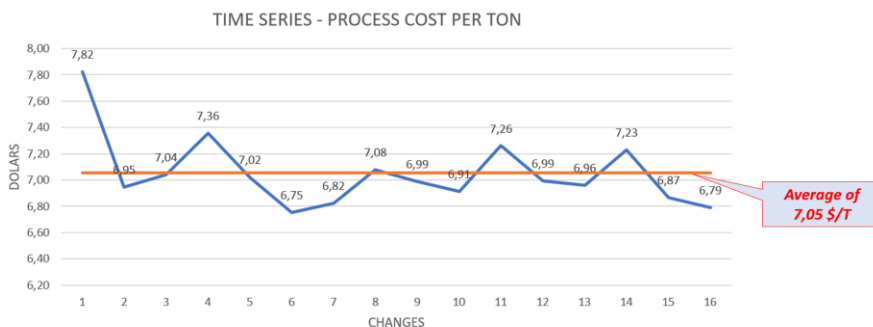
Figura 17 *Porcentaje de cantidad de cambios de martillos en la línea por molino*



En la imagen se puede apreciar como el molino 22200 es el que mayores cambios de martillos tuvo durante este periodo de tiempo, lo cual sumado a que dicho molino es de los que más martillos usa, 208 martillos para ser exactos, el costo de los martillos es mucho mayor comparado con los demás molinos, lo cual sugiere un mayor costo del proceso de molienda en toda la línea por parte de este molino.

Utilizando los datos recopilados anteriormente, se realizó una serie de tiempo que muestre como se ha comportado el molino durante los meses de abril a septiembre, pero evaluándose según la cantidad de cambios de martillos.

Figura 18 *Serie de tiempo del costo del proceso de molienda en el molino 22200*



En consecuencia, el problema enfocado para el proyecto fue “Alto costo del proceso de molienda por tonelada en el molino 22200 porque representa el 35% de los cambios realizados en la línea 12 -14 con un costo promedio de \$7.05/T.”

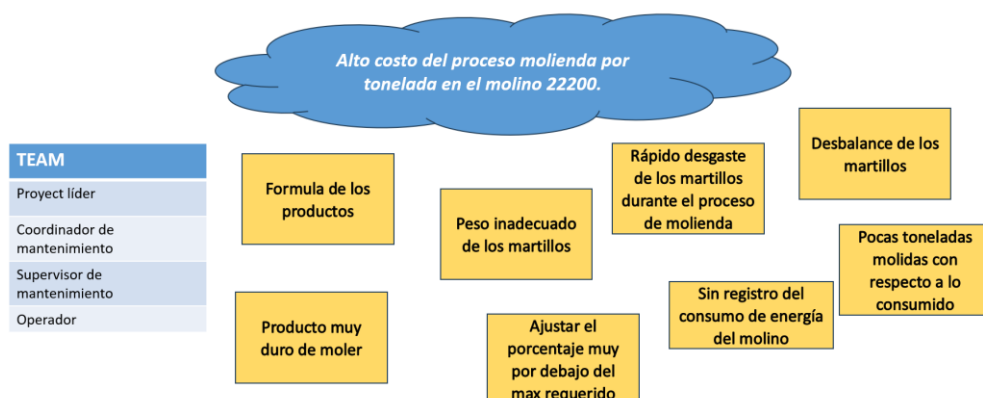
2.3 Análisis.

Para esta etapa se reunió nuevamente al grupo de clientes internos conformado por el líder del proyecto, coordinador de mantenimiento, supervisores de mantenimiento y operadores, para poder realizar el respectivo análisis que permita a los presentes presentar las posibles causas que puede estar afectando al coste del proceso de molienda.

2.3.1 Lluvia de ideas.

Se realizó una lluvia de ideas con todo el equipo de trabajo para poder tener todas las causas posibles del problema, si se diera el caso de que se repitieran o que fueran muy similares a otras causas presentadas serán tomadas como una sola idea, como se puede observar en la figura 18.

Figura 19 Lluvia de ideas del problema enfocado

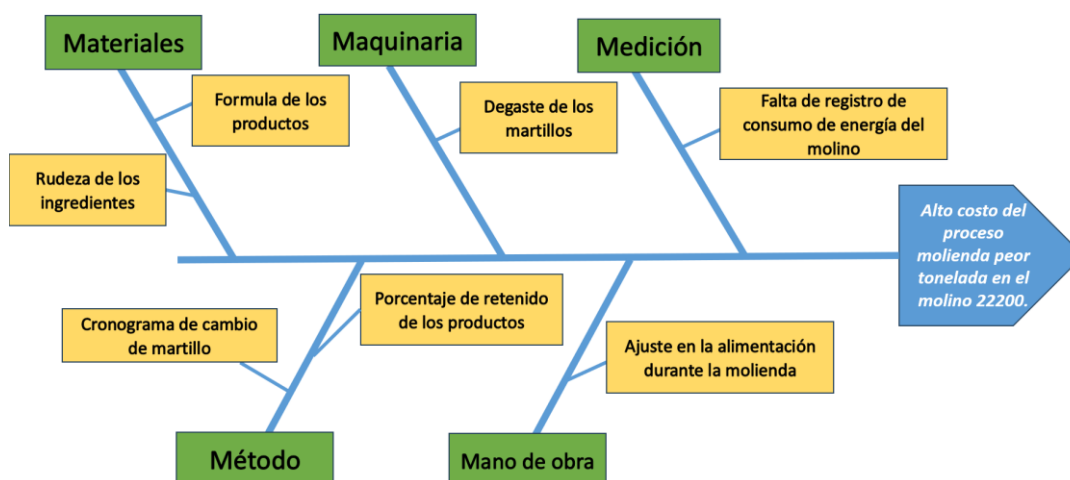


2.3.2 Diagrama de Ishikawa.

Una vez con las ideas planteadas se procedió a realizar un diagrama Ishikawa con el fin de ordenar estas ideas según el apartado que mayor afinidad tenga con estas, los apartados

a consideras fueron materiales, maquinas, medición, metodología y mano de obra, además se agregaron nuevas ideas que surgieron durante la realización del diagrama.

Figura 20 *Proceso de molienda*



2.3.3 Matriz de causas - efecto.

Posterior al diagrama, se seleccionó las causas que mejor abarcan los aspectos mencionados en el diagrama y junto al equipo del proyecto se pondero las causas seleccionadas a criterio de cada uno de los integrantes con el fin de medir su influencia en el problema, usando la ponderación de 9 si tiene una alta influencia, 3 si tiene una influencia media y 1 si se tiene baja influencia, con estos resultados se obtendrá el porcentaje de efecto de las causas.

Tabla 2 *Matrix de ponderación de causa – efecto*

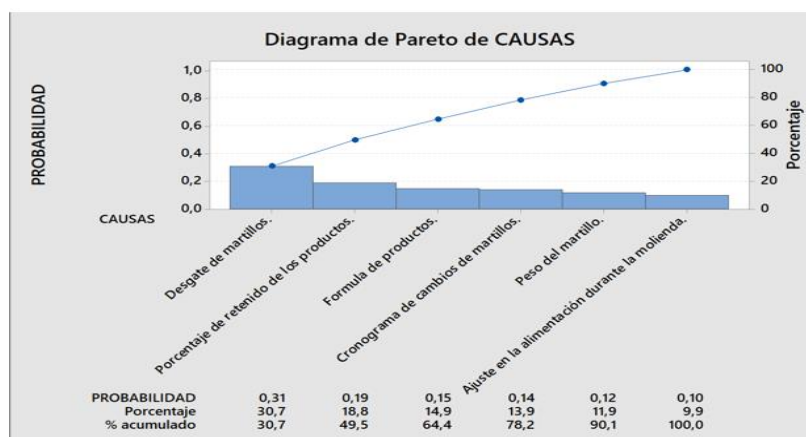
#	Causas	Lider de proyecto	Supervisores	Coordinador	Gerente de planta	Porcentaje
1	Desgaste de martillos.	9	9	9	9	31%
2	Peso del martillo.	3	1	1	9	12%
3	Porcentaje de retenido de los productos.	1	9	3	9	19%

4	Ajuste en la alimentación durante la molienda.	3	3	3	3	10%
5	Cronograma de cambios de martillos.	3	3	9	1	14%
6	Formula de productos.	3	3	9	3	15%

2.3.4 Selección de causas.

Para la selección de las causas potenciales se usó un diagrama de Pareto para poder apreciar cuales de estas causas representaban el 80 % del total de influencia que se dio en la matriz se causa- efecto.

Figura 21 Diagrama de Pareto para selección de causas



Tal cual se muestra en la figura 15, las causas seleccionadas para verificación fueron las siguientes:

- R1: Rápido desgaste de martillos.
- R2: Bajo porcentaje de retenido.
- R3: Formula de los productos.
- R4: Cronograma de cambios de martillos.

- R5: Peso de martillo.

Durante las reuniones con el equipo, nuestro cliente clave hizo hincapié en las restricciones del proyecto, por lo que analizando las causas seleccionadas se cayó en cuenta que la causa R3 no entraba dentro de las responsabilidades del área de mantenimiento por lo cual fue descartada inmediatamente.

2.3.5 Plan de verificación de datos.

Se definió un plan para la verificación de los datos donde se estableció el impacto teórico de cada una de las causas, de forma se comprobó si realmente existía una influencia de las causas en la variable predictora.

Tabla 3 Plan de verificación de datos

#	Causas potenciales	Impacto teórico	Verificación	Estado
1	Rápido desgaste de martillos.	Aumenta el costo de molienda a largo plazo.	Datos tomados	Completado
2	Bajo porcentaje de retenido de los productos.	Afecta al a costo de consume de energía.	Datos tomados	Completado
3	Cronograma de cambios de martillos	Afecta al costo del proceso de molienda	Gemba	Completado
4	Peso de los martillos	Afecta al a costo de consume de energía.	Datos tomados	Completado

Para la causa R1 (rápido desgaste de martillos) se utilizó la duración de los martillos durante el proceso de molienda siendo este de 152.45 horas lo que equivaldría 6.35 días, se sabe que en promedio la duración de los martillos son de 7 días con un máximo de 9 días por lo que se considera que el valor obtenido de 6.45 días es menor al promedio, pero para evidenciar esto se planteó un caso hipotético donde tomo un intervalo de tiempo de 2 meses y

se estableció que el molino trabajaría las 24 horas, de esta manera se realizó una comparación del número de cambios que se realizarían durante los 2 meses y como este afectaría al costo del proceso de molienda.

Tabla 4 *Comparación de costos de martillos por cambios*

Dias	Cambios	Costo
6.35 días	9 cambios	\$5 481
7 días	8 cambios	\$4 872
9 días	6 cambios	\$3 654

Como se observa en la tabla 4 entre menor sea la cantidad de cambios, lo que implica una mayor duración de los martillos, menor será el costo del cambio de martillos.

Luego para la verificación de datos para la causa R2 (Bajo porcentaje de retenido) se utilizó los datos anteriormente medidos durante la primera etapa para saber la variación del consumo de energía según se el porcentaje de retenido de cada producto, siendo que estos se encuentran divididos en 4 categorías: económicos, estándar, premium y super premium, cada una con 40%, 35%, 30% y 15% de porcentaje de retenido respectivamente.

Tabla 5 *Comparación de costos por porcentaje de retenido*

Producto	Porcentaje de retenido	Horas	Paradas	Costo de consumo de energía por tonelada (C/T)	Promedio (C/T)
Balancan	40%	1.13	13	\$5.12/T	\$5.36/T
		1.08	11	\$5.63/T	
		0.35	6	\$5.32/T	
Theo	35%	0.43	5	\$6.33/T	\$6.66/T
		1.43	16	\$6.99/T	

Nutrapro	30%	1.10	7	\$8.96/T	\$8.96/T
Wellness	15%	0.50 0.63	2 1	\$12.54/T \$32.29/T	\$22.42/T

Como se puede apreciar en la figura 18 am medida que el porcentaje de retenido es menor el costo de consumo de energía por cada tonelada molida va aumentando.

Para la siguiente causa R3 (Cronograma de cambios de martillos), se indago en la forma que tiene el área de mantenimiento para realizar los cambios de martillos, el área posee 3 alarmas para poder decidir si realizar un cambio de martillos siendo la primera alarma las toneladas que ha molido el molino, una vez pasado este filtro se revisa de forma visual como se encuentra el estado de los martillos, si la respuesta es negativa se procede al cambio pero si es positivo se seguirá utilizando los martillos y se pasa a la tercera alarma que es el amperaje consumido donde se manifiesta si este ha aumentado o se mantiene normal y en caso de haber aumentado se lleva a cabo el cambio de martillos.

Figura 22 Primera alarma de cambio de martillo

		Fecha	Toneladas producidas	Toneladas a producir	Toneladas faltantes
L14	Molino Andritz inferior (22200)	14/11/2023	223.34	1000	776.66
		14/11/2023	1213.71	1100	-113.71
L12	Molino Andritz Superior (22100)	14/11/2023	371.36	1000	628.64
		14/11/2023	1161.73	1100	-261.73
L2/9/11	Molino Muiyang 2	14/11/2023	401.925	1500	1098.08
		14/11/2023	332.525	1800	1467.48
L3/8	Molino Muiyang 8	14/11/2023	703.175	2200	1496.83
		14/11/2023	314.7625	650	335.24
L4/10	Molino M1006	14/11/2023	148.525	720	601.48
		14/11/2023	214.022	800	585.98

Este proceso para el cambio puede incurrir en un consumo de energía innecesario al querer probar si estos aún están aptos para moler, al igual que generar paras a los molinos solo para hacer la verificación.

Para la causa potencial R5, se probaron los martillos de 8mm de espesor los cuales tienen un peso de 0.635 kg cada uno, un peso mayor a los 0.465 kg de los martillos actuales. Una vez realizado la toma de datos del consumo de energía con estos martillos se obtuvo un incremento en el costo de consumo de energía por tonelada molida llegando a \$11,13/T a poco días de molienda, por lo que el peso es una característica a tener en cuenta.

2.3.6 Metodología 5 WHY'S.

Se uso la metodología 5 WHY'S para poder encontrar la causa raíz de las causas potenciales antes seleccionadas, para esto se realizarán preguntas del porqué de la razón de la causa potencial y así de forma sucesiva para encontrar la razón principal de todo, así mismo para cada causa potencial estas podrán conectarse con alguna otra causa, para esto se utilizó un código de L# sobre cada round de preguntas de cada causa.

Tabla 6 Metodología 5 WHY'S de la causa R1.

Ronda 1 (L1)	Hipótesis	Ronda 2 (L2)	Hipótesis	Ronda 3 (L3)	Hipótesis
¿Porque sucede el rápido desgaste de martillos?					
		¿Porque la materia prima suele ser dura?		¿Porque el origen de las proteínas influye en que la materia prima sea muy dura?	
Por moler materia prima muy dura	SI	Por el origen de proteínas para la fórmula de producto, la proteína a moler es más dura.	SI	Por qué según el tipo de materia de origen, esta contendrá gluten, a medida que la categoría de los productos se de mayor calidad, se disminuirá el gluten.	Restricción
		¿Porque el tipo de material afecta al rápido desgaste del martillo?		¿Porque las propiedades del material afectan al rápido desgaste del martillo?	
Por el tipo de material que compone el martillo	SI	Porque el material puede llegar a no soportar la acción mecánica de moler debido a sus propiedades.	SI	Porque estas pueden influir en la resistencia a la abrasión cuando ocurre el choque del material con la materia prima y a las altas temperaturas producidas.	CAUSA RAIZ

		¿Porque la granulometría del producto afecta al desgaste del martillo?		¿Porque se debe moler mas según la granulometría del producto?	
Por la granulometría del producto.	SI	Porque según la granulometría del producto se debe moler más o menos la materia prima.	SI	Porque según el producto y su tipo de calidad, este debe tener granos más finos a moler (% DE RETENIDO).	L4

Tabla 7 Metodología 5 WHY'S de la causa R2

Ronda 1 (L4)	Hipótesis	Ronda 2 (L5)	Hipótesis	Ronda 3 (L6)	Hipótesis
¿Porque afecta el porcentaje de retenido de los productos al costo de molienda?		¿Por qué el porcentaje de retenido es bajo?			
		Porque esta designado por la categoría del producto.	SI		
Porque entre menor sea el porcentaje de retenido mayor será el uso del martillo y su desgaste.	SI	Porque los operadores durante el proceso molienda designa una cantidad de alimentación al molino, teniendo en cuenta que al aumentar la alimentación también aumenta el porcentaje, esto con el fin de no rebasar el porcentaje de molienda, razón por la que lo ponen bajo durante unas paradas.	SI	¿Porque los operadores realizan esa acción?	L1
				Suelen hacerla debido al desgaste de los martillos o por las cribas.	

Tabla 8 Metodología 5 WHY'S de la causa R4

Ronda 1 (L8)	Hipótesis	Ronda 2 (L9)	Hipótesis
¿Porque afecta el cronograma de cambios de martillos?			
¿Porque se utiliza alarmas visuales y de tanteo?			
Porque se utiliza alarmas visuales y de tanteo para determinar el cambio.	SI	Porque no se tiene como medir el desgaste exacto del martillo y se puede incurrir en un coste elevado de energía por seguir usándolos.	CAUSA RAIZ

Tabla 9 Metodología 5 WHY'S de la causa R5

Ronda 1 (L10)	Hipótesis	Ronda 2 (L11)	Hipótesis	Ronda 3 (L12)	Hipótesis
¿Porque afecta el peso del martillo al costo de molienda?					
Porque según el peso del martillo se necesitará mayor cantidad de energía.	CAUSA RAIZ				
¿Porque puede ocurrir un desbalanceo?					
Porque puede ocurrir un desbalanceo.	SI	¿Porque se desgastan de forma no uniforme?			
		Porque los martillos se desgastan de forma no uniforme lo que causa que una parte tenga más material que otra	SI	Porque los 2 lados del martillo son usados en diferentes turnos, para diferente tipo de producto.	L1

Con estos resultados se obtuvieron las siguientes causas raíces para cada uno de las causas potenciales antes mostrados.

Tabla 10 *Causas raíces del problema enfocado*

R1	R2	R5	R4	R5
Porque estas pueden influir en la resistencia a la abrasión cuando ocurre el choque del material con la materia prima y a las altas temperaturas producidas.			Porque no se tiene como medir el desgaste exacto del martillo y se puede incurrir en un coste elevado de energía por seguir usándolos.	El peso de los martillos causa mayor consumo de energía.

2.4 Mejora

Una vez definido las causas raíces del problema, se reunió al equipo del proyecto para realizar una lluvia de ideas para encontrar soluciones que ayuden a solventar y mejorar la situación causada en base a estas causas.

2.4.1 Soluciones de causa raíz 1

Para la primera causa, la idea que más fue propuesta fue el cambio de composición del martillo con un material que pueda favorecer en las propiedades de desgaste del material al momento de colisiones, de esta forma se plantearon los siguientes materiales basándose en la dureza de los mismo, así como en su tensión de rotura y en el límite de flexibilidad.

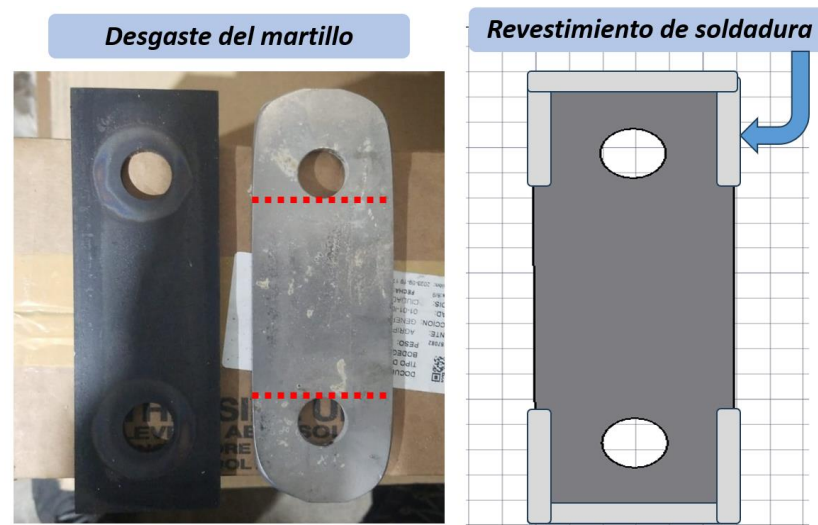
Tabla 11 *Materiales para composición de nuevos martillos*

Material	Dureza (HB)	Límite de fluencia (Mpa)	Tensión de rotura (Mpa)	Descripción
Plancha naval	120-140	234	400 - 517	Plancha de acero de estructura naval, bajo normativa NTE INEN 115 y con calidad ASTM A131.
CRONITH 450	420 – 480	1 163	1316	Plancha micro aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento.

RAEX 400	360 – 440	1 000	1250	Gama de aceros resistentes al desgaste, de alta tracción, elevada dureza y tenacidad frente al impacto. Permiten ampliar la vida útil de la maquinaria, disminuir el desgaste en componentes estructurales, disminuir pesos mejorando la eficiencia energética y disminuir el consumo de combustible.
Acero 13% Manganeso	600	345	415	Acero aleado reconocido por su resistencia excepcional al impacto y la abrasión. Su composición única de 13% de manganeso, le confiere propiedades anti desgaste extremas y una gran tenacidad.

Otra de las soluciones propuestas fue el uso de algún tipo de material que sirviera como revestimiento para el martillo otorgándole resistencia al desgaste por abrasión en las zonas que se encuentra en contacto con la materia prima, siendo este un recubrimiento superficial del martillo y no completo, en la figura 22 se puede observar cómo se colocaría el revestimiento.

Figura 23 *Recubrimiento de martillos*



El material propuesto para el revestimiento es la soldadura UTP LEDURIT 65, esto debido a sus propiedades anti desgaste ya que esta soldadura se encuentra compuesto por carburos especiales como molibdeno (mo), vanadio (v), tungsteno (w), niobio (nb) por lo que al ser colocado en piezas o partes sujetas a una fuerte abrasión ocasionada por la fricción con la materia prima alcanzado temperaturas de 500°C, además de poseer una dureza de 600 HB.

Con estos materiales se propuso una idea que abarque las 2 anteriores, en la siguiente tabla se puede observar las diferentes propuestas de martillos y la respectiva descripción de los mismos.

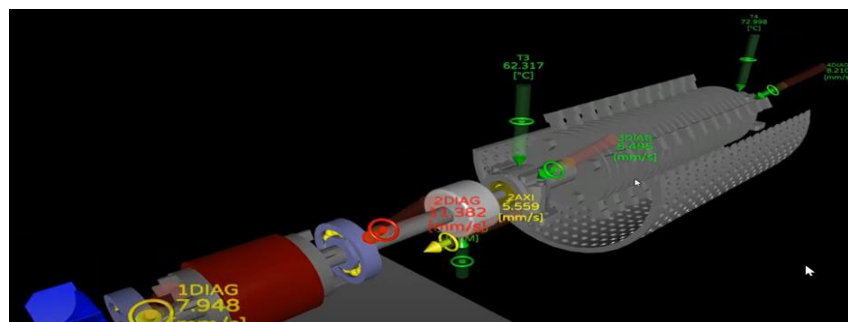
Tabla 12 Opciones de martillos y sus recubrimientos

Material del martillo	Recubrimiento	Descripción
Plancha naval	UTP LEDURIT 65	
CRONITH 450	UTP LEDURIT 65	
Plancha naval	Acero 13% Manganeso	Martillo compuesto de [material] de 175mm de largo, 60 de ancho un espesor de 6 mm, con 2 perforaciones de 20 mm de diámetro en los extremos, los mismo recubiertos de [recubrimiento].
Acero 13% Manganeso	UTP LEDURIT 65	
RAEX 400	UTP LEDURIT 65	

2.4.2 Soluciones de causa raíz 2

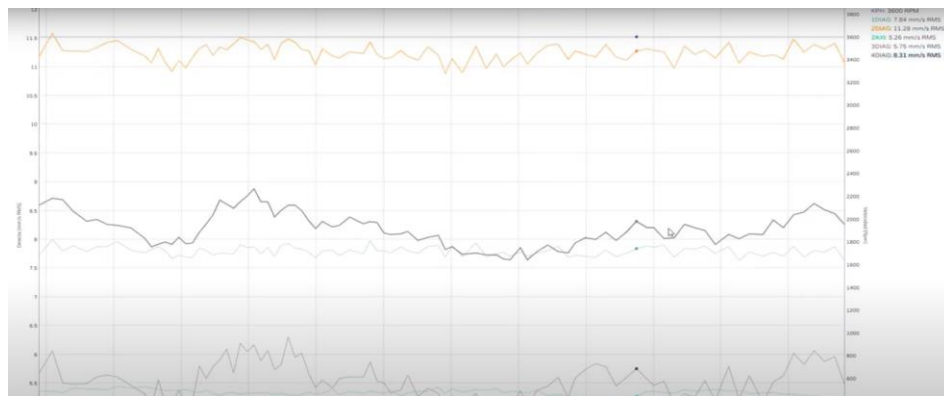
Para la segunda causa raíz, la primera solución expuesta fue la implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones, con este equipo se puede identificar fallas en el molino en base a las vibraciones que esté presente durante el proceso de molienda, este sistema funciona colocando 4 sensores en partes específicas del molino estos captaron los datos que serán transferidos a una plataforma web para su visualización.

Figura 24 Sensores de vibración en el molino



Una de las fallas a detectar es el desbalanceo que pueda ocurrir en el molino que en una gran cantidad de las veces sucede debido al desgaste de martillos, esto se mostrara como grafica de vibraciones en la plataforma del proveedor, en la figura 24 se puede apreciar el grafico de las vibraciones del molino.

Figura 25 *Grafica de vibraciones*



Una vez se detecte el desbalanceo a través de alarmas colocadas en la plataforma, se podrá tomar acción de forma preciso para el cambio de martillo y a su vez se proporcionará información que ayudara al mantenimiento predictivo del molino.

Otra solución propuesta fue la implementación de un sistema de alarmas en la cabina de mando de la línea 12-14, esta idea se basa en la recolección de datos del sistema totalizando las horas que el molino estuvo moliendo de forma efectiva, lo que significa un desgaste de martillo, esto tendrá un límite el cual será un parámetro establecido por el cliente, mostrando el tiempo más aproximado a cambiar los martillos siendo más preciso debido al uso de datos del propio sistema y no de los operadores.

Este se mostrará como una ventana a lado de la gráfica de amperaje de los molinos donde se visualizará la cantidad de horas de molienda efectiva que lleva cada uno de los molinos, cada uno contará con un botón de reinicio una vez se realice el cambio. Además, en

el menú principal se encontrará la pestaña donde se podrá modificar los parámetros de las alarmas.

Figura 26 *Diseño de ventanas de alarmas*



2.4.3 Soluciones de causa raíz 3

Para la causa número 3 se sugiere la reducción del espesor del martillo de 6 mm a 4 mm debido a que las demás longitudes no son modificables. Por otro lado, se reduciría el peso que soportaría el molino por lo que no se vería afectada el consumo de energía del equipo.

Se tomaron los materiales antes propuestos, para comprobar sus pesos y poder definir diferencias entre los mismos.

Tabla 13 *Pesos de martillos.*

Material del martillo	Densidad (kg/mm ³)	Masa (6 mm)	Masa (4 mm)	208 martillos (6mm)	208 martillos (4mm)
Plancha naval	0.0000078	0.4914 kg	0.3276 kg	102.21 kg	68.14 kg
CRONITH 450	0.00000785	0.49455 kg	0.3297 kg	102.87 kg	68.58 kg

Acero 13% Manganeso	0.00000787	0.49581 kg	0.3054 kg	103.13 kg	68.75 kg
RAEX 400	0.00000771	0.48573 kg	0.32382 kg	101.03 kg	67.35 kg

Con estos datos se pudo verificar que no existe una gran diferencia entre el peso de los distintos materiales, pero estos si son superiores a material actual de martillo utilizado por lo que supondría un gasto mayor, pero con mayor durabilidad del martillo.

2.4.4 Criterios para selección de soluciones

Se desarrollaron los siguientes criterios para la selección de propuestas en base al esfuerzo y la ponderación de impacto.

Tabla 14 Criterios de selección

Valor	Descripción	Costo		Tiempo de implementación	Personal	Tiempo de entrenamiento
		Martillos	Otros			
0	No aplica	\$0	\$0	0 dias	0 operadores	0 horas
3	Bajo	< \$5.07	< \$500	< 7 dias	1 operadores	8 horas
5	Medio	\$6.76	\$3 000	30 dias	2 operadores	15 horas
9	Alto	> \$10.14	> \$10 000	> 60 dias	3 operadores	24 horas

Tabla 15 Valores de ponderación de impacto

Valor	Impacto
3	BAJO
5	MEDIO
9	ALTO

2.4.5 Cotización de soluciones

Las soluciones tuvieron los siguientes costos:

Tabla 16 Cotización de soluciones

ID	Solución	Costo
S1	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	C/U: \$9.90 \$18.28----- \$10.50
S2	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de Acero 13% al manganeso.	C/U: \$10.05-----\$11.13
S3	CRONITH 450 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	C/U: \$12.50-----\$14.45
S4	RAEX 400 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	C/U: \$20----\$21.34
S5	Acero 13% al manganeso de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	C/U: \$10---\$13.5
S6	Sistema de monitoreo de vibraciones.	\$3117.23 (1 Molino)
S7	Sistema de alarma para mantenimiento predictivo.	\$1500 (4 Molinos)

2.4.6 Selección de propuestas en base a esfuerzo

Tabla 17 Ponderación de esfuerzo

ID	Solución	Costo	Tiempo de implementación	Personal	Tiempo de entrenamiento	TOTAL
S1	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	5	3	0	0	8
S2	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de Acero 13% al manganeso.	5	3	0	0	8
S3	CRONITH 450 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	9	3	0	0	12
S4	RAEX 400 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	9	3	0	0	12

S5	Acero 13% al manganeso de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	9	3	0	0	12
S6	Sistema de monitoreo de vibraciones.	5	3	3	3	14
S7	Sistema de alarma para mantenimiento predictivo.	5	5	3	3	16

2.4.7 Selección de propuestas en base a impacto

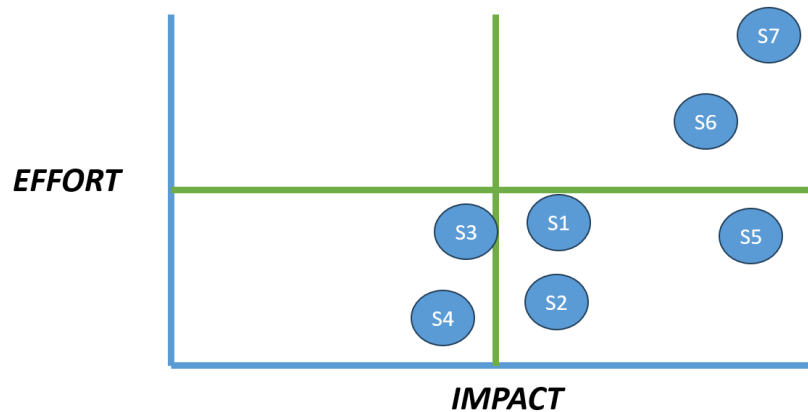
Tabla 18 Ponderación de impacto

ID	Solución	Impacto	¿Por qué?
S1	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	5	Basándose en la Dureza del material y el recubrimiento que contar con 140 HB Y 600 HB se estima que los martillos pueden llegar a durar una cantidad de días superior
S2	Plancha naval de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de Acero 13% al manganeso.	5	Basándose en la Dureza del material y el recubrimiento que contar con 140 HB Y 600 HB se estima que los martillos pueden llegar a durar una cantidad de días superior
S3	CRONITH 450 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	5	Basándose en la Dureza del material y el recubrimiento que contar con 480 HB Y 600 HB se estima que los martillos pueden llegar a durar una buena cantidad de días.
S4	RAEX 400 de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	5	Basándose en la Dureza del material y el recubrimiento que contar con 440 HB Y 600 HB se estima que los martillos pueden llegar a durar una buena cantidad de días.
S5	Acero 13% al manganeso de 4mm o 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65.	9	Basándose en la Dureza del material y el recubrimiento que contar con 600 HB Y 600 HB se estima que los martillos pueden llegar a durar una gran cantidad de días.
S6	Sistema de monitoreo de vibraciones.	9	Se lograría observar los momentos de desbalance del Molino debido al desgaste de martillo y poder con esto predecir mejor los cambios, por otra parte, el sistema también nos ofrece ver el comportamiento del molino para otras fallas.

S7	Sistema de alarma para mantenimiento predictivo.	9	Se podrá designar con más eficiencia el cambio de martillos según la información dada por el propio sistema.
----	--	---	--

2.4.8 Matriz impacto – esfuerzo

Figura 27 Matrix impacto-esfuerzo



En base a la matriz y el criterio del cliente se seleccionaron como soluciones a implementar la propuesta número 7, 6 y 1.

2.4.9 Plan de implementación

Tabla 19 Plan de implementación

Solución	¿Por qué?	¿Donde?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Como?	Costo
Plancha naval de 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65	Disminución del desgaste de martillo	Molino 22200 línea 12 - 14	12/01/2024	Área de mantenimiento	Cambio de la composición del martillo a pedido.	\$9.90---- \$20.00
Sistema de monitoreo de vibraciones	Predicción del desbalanceo por desgaste de martillo	Molino 22200 línea 12 - 14	15/01/2024	Área de mantenimiento	Aplicación de sensores de vibraciones para monitoreo del molino	\$3117.23 (1 Molino)
Sistema de alarmas para mantenimiento predictivo	Establecimiento de alarmas para cambio de martillos	Molino 22200 línea 12 - 14	15/01/2024	Área de mantenimiento	Modificación del sistema de dosificación de la cabina 12-14	\$1500 (4 Molinos)

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

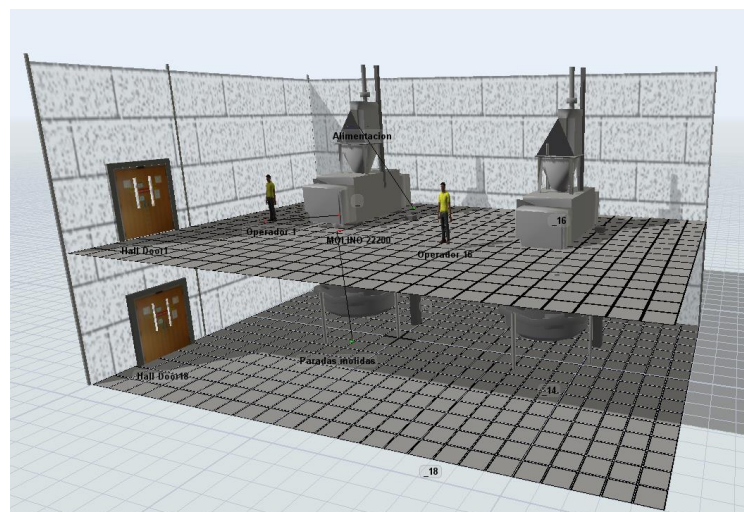
Debido a inconvenientes presentados durante la implementación de las soluciones del proyecto, se han tomado medidas para poder adecuar los tiempos de entrega del mismo con respecto a los resultados esperados, para esto se simuló las propuestas pertinentes y se planteó un plan de control que la empresa pueda seguir a futuro.

3.1.1 Solución 1: Plancha naval de 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65

3.1.1.1 Simulación

Se realizó la simulación del proceso de molienda del molino 22200, para esto se plantearon 2 escenarios tanto el escenario original que es el que se lleva a cabo en la empresa y el escenario con la mejora implementada.

Figura 28 Simulación de mejora



Los parámetros a utilizar en la simulación son los siguientes:

- Duración de procesamiento de batch y alimentación: 7.59 min (\pm 0.72)
- Duración de cambios de martillos: 24 horas
- Periodo de prueba: 2 meses

En el primer escenario se usaron los martillos originales con un costo de \$609, durabilidad estimada de 7 días de molienda efectiva y un costo de consumo de energía por tonelada de \$6.62/T aproximadamente, mientras que para el escenario de mejora los martillos tienen un costo de \$1300, durabilidad estimada de 25 a 30 días de molienda efectiva y un costo de consumo de energía por tonelada de \$6.84/T aproximadamente, cabe aclarar que los valores de durabilidad estimada y costo de consumo de energía por tonelada fueron obtenidos de manera referencial. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 20 *Resultados de simulación*

Material	Tiempos de cambios de martillos	Numero de cambios	Toneladas producidas por cambios	Toneladas totales
Martillos originales	10056.9 min	7	1842.17 T	12577.34 T
Martillos de plancha naval de 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65	2868.4 min	2	7047,14 T	13994.92 T

En los resultados se puede observar un incremento del 10.16 % de las toneladas producidas durante los 2 meses simulados y una disminución del número de cambios de martillos lo cual refleja una reducción del 71.42%, lo cual a su vez muestra una reducción del 71.14 % en el tiempo invertido para cambios de martillos.

3.1.1.2 Análisis de costos

Con los valores obtenidos se procedió a realizar el cálculo del costo del proceso de molienda por cada tonelada molida en los 2 escenario simulados.

Tabla 21 *Costo del proceso por tonelada del escenario 1*

Cambio	Tonelaje producido	Costo de martillo	Costo de martillo por tonelada	Costo de consumo de energía por tonelada	Costo del proceso por tonelada
1	1 842.17 T	\$609	\$0.331/T	\$6.65/T	\$6.98/T
2	1 742.04 T	\$609	\$0.350/T	\$6.67/T	\$7.02/T
3	1 802.21 T	\$609	\$0.338/T	\$6.75/T	\$7.09/T
4	1 837.57 T	\$609	\$0.331/T	\$6.65/T	\$6.98/T
5	1 751.08 T	\$609	\$0.348/T	\$6.64/T	\$6.99/T
6	1 789.17 T	\$609	\$0.340/T	\$6.66/T	\$7.00/T
7	1 813.10 T	\$609	\$0.336/T	\$6.65/T	\$6.99/T

Tabla 22 *Costo del proceso por tonelada del escenario 2*

Cambio	Tonelaje producido	Costo de martillo	Costo de martillo por tonelada	Costo de consumo de energía por tonelada	Costo del proceso por tonelada
1	7 047.14 T	\$1 300.0	\$0.184/T	\$6.7/T	\$6.88/T
2	6 947.78 T	\$1 300.0	\$0.187/T	\$6.68/T	\$6.87/T

Una vez obtenido los valores del costo del proceso de molienda, se obtuvo el promedio de los mismo y se calculó el costo total con respecto a todas las toneladas producidas.

Tabla 23 *Comparativa de costos totales*

Escenario	Costo del proceso por tonelada molida	Costo total de martillos
Martillos originales	\$7.01/T	\$4 263.4
Martillos de plancha naval de 6mm de espesor con recubrimiento de soldadura UTP LEDURIT 65	\$6.88/T	\$2 600.0

Como se aprecia en la tabla, el costo de martillo por tonelada en el escenario de mejora es menor al del escenario de los martillos originales mostrando una reducción 39.01% esto debido a la menor cantidad de martillos a utilizar, mientras que para nuestra variable predictora el costo del proceso por tonelada molida se redujo en un 2.34% mostrando que si bien el costo de martillo es mayor debido a los demás beneficios capturados como el tonelaje producido y cantidad de martillos es más conveniente la mejora para el proceso.

3.1.1.3 Verificación estadística

El Gráfico de Intervalos y la prueba U de Mann-Whitney muestran que con un nivel de confianza del 95%, el costo del proceso de molienda por tonelada antes y después de la implementación de las soluciones se comportó de manera diferente. Es decir, la implementación de las soluciones incide significativamente en el coste del proceso de molienda, tal como se muestra en figura 29 y 30.

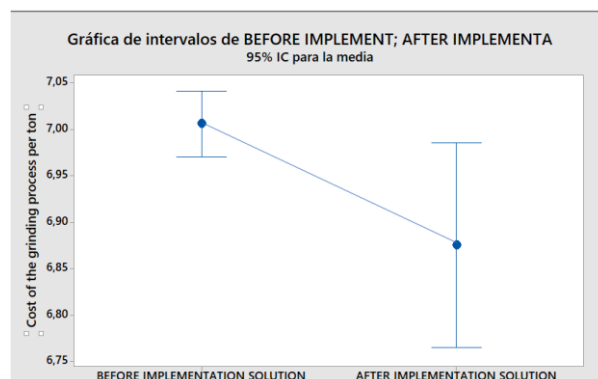
Figura 29 *Gráfico de intervalos*

Figura 30 Prueba de Mann-Whitney U**Mann-Whitney: BEFORE IMPLEMENTATION SOLUTION; ... SOLUTION****Método**

η_1 : mediana de BEFORE IMPLEMENTATION SOLUTION
 η_2 : mediana de AFTER IMPLEMENTATION SOLUTION
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

	Muestra	N	Mediana
BEFORE IMPLEMENTATION SOLUTION	7	6,98779	
AFTER IMPLEMENTATION SOLUTION	3	6,86711	

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0,135118	(0,0969439; 3,96959)	95,98%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Valor W	Valor p
49,00	0,023

3.1.1.4 Plan de control y seguimiento

Se elaboro un plan de control y seguimiento que la empresa debe seguir para la obtención de datos que ayuden en la verificación del comportamiento del proceso con la mejora implementada y el mejoramiento continuo del proceso de molienda.

Tabla 24 Plan de control para solución 1

Que	Porque	Quien	Cuando	Documento
Verificación de las características de los martillos antes del cambio: peso, espesor, estado de soldadura.	Los nuevos martillos deben cumplir con las características para garantizar un triturado eficaz y sin complicaciones durante el proceso.	Supervisor de mantenimiento	A la llegada de los martillos.	Informe de estado de martillos recibidos.
Comprobación de los valores de amperaje durante el rectificado para detectar valores altos durante el rectificado	Detectar valores que puedan indicar problemas como: rozamientos, desalineaciones, etc. causados por martillos.	Operario encargado	Cada semana	Informe: Identificación de valores anómalos durante el rectificado.

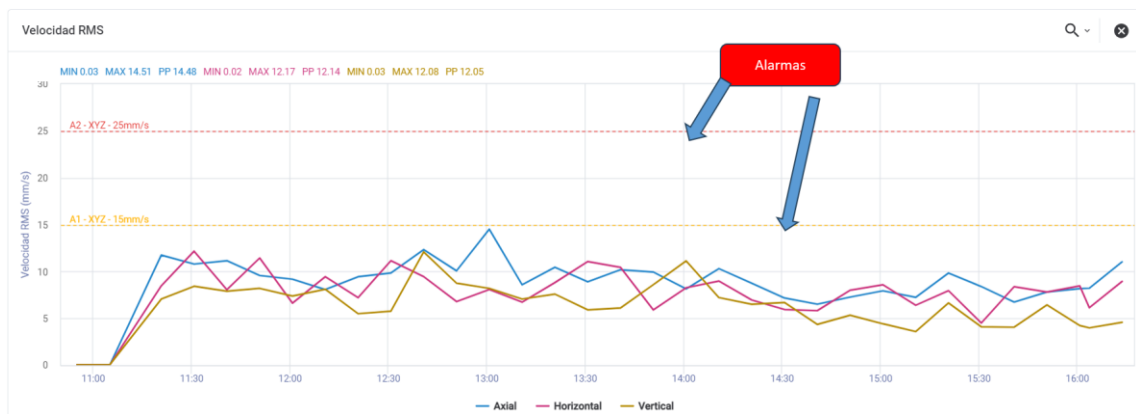
3.1.2 Solución 6 y solución 7**3.1.2.1 Prueba del sistema de vibraciones**

Se realizo una prueba con los sensores de vibraciones en el molino 22200 donde se recolecto los datos recopilados del sensor cada cierto tiempo en la plataforma del proveedor y

también se definieron las alarmas que servirían como límites vibracionales siendo estos tomados del manual de los molinos, estas alarmas mostraran cuando ocurra fallas en el molino y entre estas se puede identificar el desbalance por desgaste de martillos. Las alarmas definidas son:

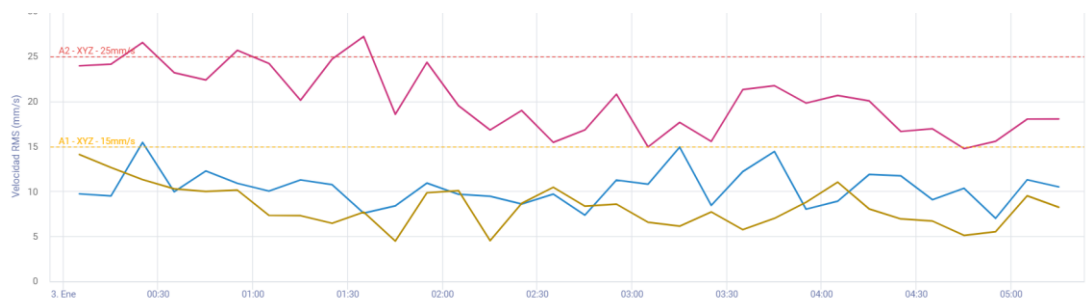
- Nivel alto de vibración: 15 mm/s
- Nivel muy alto de vibración: 25 mm/s

Figura 31 Prueba de sensores de vibraciones 1



En la figura 31 se observó el registro de las vibraciones del molino durante las primeras horas desde la instalación del sistema, la gráfica se mantiene por debajo de los límites establecidos lo que nos deja saber que se encuentra bajo control y no existe inconvenientes

Figura 32 Prueba de sensores de vibraciones 2



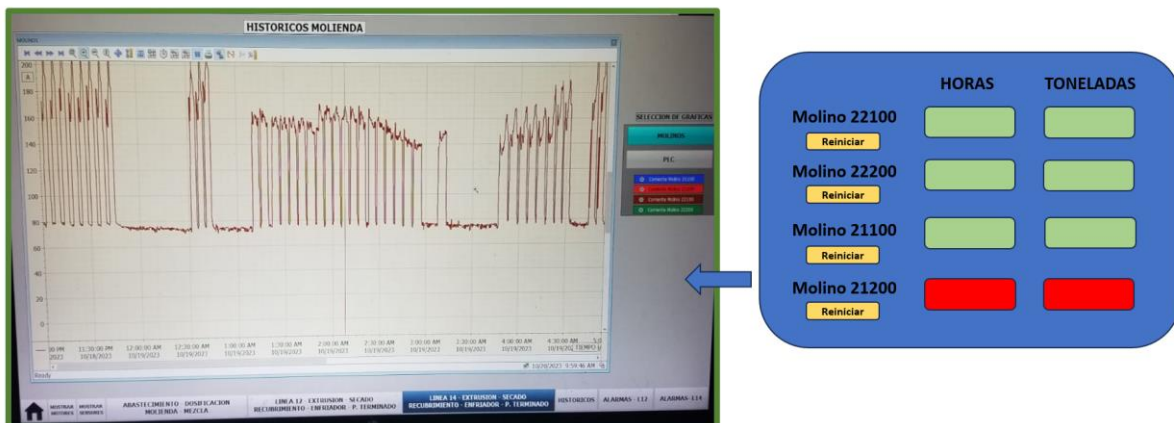
Una vez ocurre el desgaste de los martillos en el tiempo esperado las vibraciones comenzaron a incrementar lo cual llevo a que la gráfica sobrepasara los límites establecidos llegando incluso a alcanzar los 40 mm/s, dando así un aviso de la necesidad de cambiar los martillos del molino.

Debido a que la prueba tuvo una duración de 2 semanas no se pudo recopilar una gran cantidad de datos que la plataforma del sistema necesita para generar un análisis predictivo y con este definir los cambios de martillos de forma más precisa.

3.1.2.2 Implementación de alarmas en el sistema de cabina 12-14

La implementación se basa en automatizar la recolección de datos de horas de molienda efectiva y las toneladas producidas en base a las paradas, este procedimiento ya no sería una toma manual de datos ya que ahora el propio sistema indicaría la cantidad de esos indicadores y con ello un oportuno cambio de martillos.

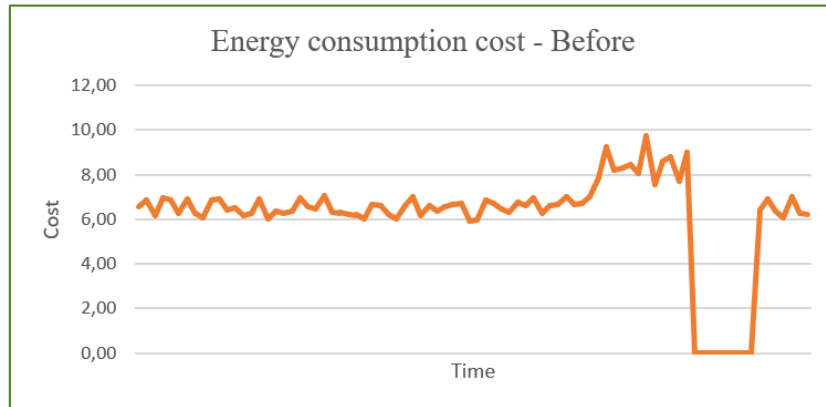
Figura 33 Sistema de cambios de martillos por alarmas



3.1.2.3 Resultados a futuro de solución 6 y 7

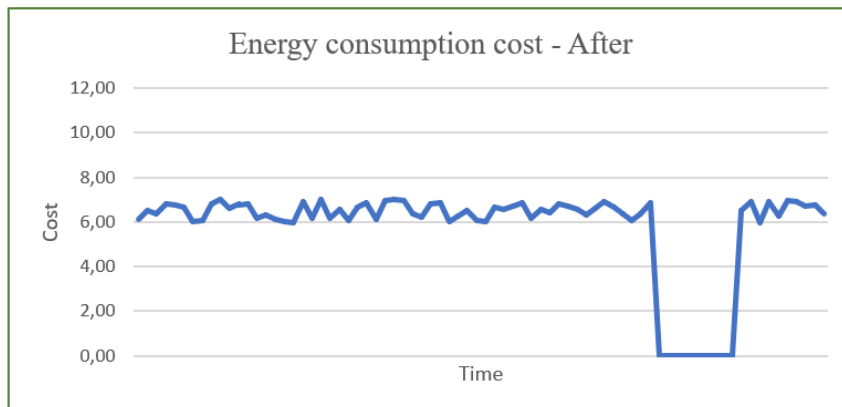
Durante las últimas horas de utilización de martillos de molinos, el desgaste es mayor por lo que el consumo de energía del molino aumenta y disminuye la cantidad que toneladas producidas tal cual se ve en la figura 32.

Figura 34 Costo de consumo de energía antes de implementación 2 y 3



Como se puede apreciar en la imagen, los picos de alto consumo son antes del cambio de martillos por lo que aplicando las mejoras que permitan designar un cambio de martillos adecuado y preciso se eliminaría estos valores de consumo de energía por lo que esta se mantendría en un nivel cerca del promedio durante el proceso, tal cual se ve en la figura 33.

Figura 35 Costo de consumo de energía después de implementación 2 y 3



3.1.2.4 Análisis de costos

El costo de consumo de energía por tonelada que se ha alcanzado con el sistema de alarmas actual es de un promedio de \$7.59/T durando este periodo de alto consumo entre 4 a 5 días.

Tabla 25 *Análisis de costos de solución 6 y 7*

Escenario	Costo de consumo de energía por tonelada (actual)	Días de alto consumo	Paradas promedio	Costo
Martillos originales	\$7.59/T	4.5 días	221 paradas	\$2 264.47

En base al análisis se observa como que puede llegar a alcanzar un ahorro de \$2264.47 usando los martillos actuales, pero teniendo un momento más preciso para realizar el cambio de martillos y no dejar pasar días de forma innecesaria.

3.1.2.5 Plan de control y seguimiento solución 6

Se definió el plan de control y seguimiento a seguir por parte de la empresa para la correcta recolección de datos y verificación del estado de los sensores vibracionales durante el tiempo de prueba.

Tabla 26 *Plan de control para solución 2*

Que	Porque	Quien	Cuando	Documento
Verificación del estado de los sensores acoplados al molino.	Se debe conocer el estado del sensor para la correcta recogida de datos por parte del mismo. Si no se adjunta correctamente los datos serán erróneos.	Operario encargado	Cada día	-
Comprobación de los valores de amperaje durante el rectificado para detectar valores altos durante el rectificado	Detectar valores que puedan indicar problemas como: rozamientos, desalineaciones, etc. causados por martillos.	Supervisor de mantenimiento	Cada día	-

3.1.2.6 Plan de control y seguimiento para solución 7

Tabla 27 Plan de control para solución 3

Que	Porque	Quien	Cuando	Documento
Verifique la ubicación de los parámetros correctos en el menú del sistema de cabina.	Ajustar los parámetros de forma inadecuada puede afectar las alarmas de cambio de martillo, provocando un avance o retraso en el cambio.	Operador encargado	Cuando ocurre un cambio de martillo	-

3.1.3 Análisis métricas de sostenibilidad

3.1.3.1 Aspecto económico

En base a la simulación realizada se obtuvo un mayor índice de disponibilidad de la maquina debido al menor cambio de martillos que se realizan durante los 2 meses, el índice de disponibilidad paso de 76.4% a 87.43% lo cual evidencia un aumento del 11.03 % con lo cual se obtiene un mayor beneficio económico por la cantidad de toneladas producidas.

3.1.3.2 Aspecto Social

Debido a la durabilidad de los nuevos martillos estos tendrán un menor número de cambios durante el año y el tiempo en que se estén usando, basándose en la simulación, existe una disminución en el número de cambios de martillos pasando de 7 cambios a solo 2 cambios durante los 2 meses que se simulo, por lo que el tiempo designado para los cambios de martillos paso de 167.61 horas a solo 47.8 horas lo cual alivia la carga laboral para los operarios encargados del cambio de martillos.

3.1.3.3 Aspecto Ambiental

El molino utiliza 208 martillos, con el material original existe un total de 677.04 kg enviada a chatarrizar mientras con los nuevos martillos la cantidad a chatarrizar es de 208.58 kg, existiendo una reducción del 30,15% en material enviado a chatarrizar

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se consiguió identificar de forma satisfactoria las causas del problema en el proyecto y saber priorizar cual de ellas eran las mas relevantes a solucionar y mejorar.
- Se logro proponer ideas que supusieron una mejora en el proceso y ayudaron en la reducción de costos durante la molienda.
- Se concluyo que hubo una reducción del 2.43% en el costo del proceso de molienda por tonelada molida, esto debido a una menor cantidad de cambios de martillos.
- Luego de la implementación, el número de cambios de martillos se redujo de 7 a 2 cambios de martillos, lo que a su vez causo una disminución del 39,01% en el costo de los martillos y una reducción del 71.14% en el tiempo invertido en el cambio de martillos.
- Se observo que la cantidad de toneladas molidas aumento en un 10.16%, esto debido a que la disponibilidad del molino aumento en un 11.03%.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la medición de los datos en la cabina durante la implementación de las soluciones, esto con el fin de poseer datos más confiables para el análisis de costos y resultados de las mejoras propuestas.
- Llegado el caso que se implemente los sensores vibracionales es recomendable revisar las fuentes de vibración que pueden estar afectando al molino, esto también se expande a aquellos conductores que hacen contacto con el molino como podría ser el suelo.

Referencias

- Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L. (1 de Mayo de 2009). *Diseño y construcción de un molino de martillos*. Obtenido de Repositorio USFQ: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1126>
- Fermin Gomez Fraile, J. F. (2003). *SEIS SIGMA*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- Fische, R., Ferreira, M., Fernandez, M., & Tassara, F. (24 de Octubre de 2018). *Modelo SMART de gestión por objetivos en la Universidad: el caso de la Universidad de Flores*. Obtenido de Repositorio institucional UFSC: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/190944>
- K. Srinivasan, S. M. (2016). Six Sigma through DMAIC phases. *International journal of Productivity and Quality mangement*, 236-257.
- KNOP, K. (2016). *USING A QFD METHOD AND CTQ TREE TO IDENTIFY THE AREAS NEEDING IMPROVEMENT IN THE PRODUCT FARM TRUCK TRAILER*. Varsovia: Wydział Zarządzania.
- Luis Socconini, C. R. (2019). *Lean Six Sigma. Sistema de gestión para liderar empresas*. Madrid: MARGE books.
- Martinez, J. M. (2013). *Metodologia avanzadas para la mejora continua*. Madrid: Dias de Santos.
- Pedro Grima Cintas, J. T.-M. (1995). *Tecnicas para la gestion de calidad*. Madrid: Dias de Santos.
- Rasmusson, D. (2006). *SIPOC Picture Book: A Visual Guide to SIPOC/DMAIC Relationship*. Madison: ORIEL, Sam Group Company.
- Seoane, E. (2023). *Metas SMART: Logra tus sueños*.