



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Mejora de la calidad aplicando Lean Six Sigma en el
proceso de extrusión de barras para aumentar la
productividad en una empresa fabril, 2023**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Anyela Eliezer CANCHARI CONDORI

ASESOR

Dr. José Angel PORLLES LOARTE

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Canchari, A. (2023). *Mejora de la calidad aplicando Lean Six Sigma en el proceso de extrusión de barras para aumentar la productividad en una empresa fabril, 2023*. [Trabajo de Suficiencia Profesional de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	ANYELA ELIEZER CANCHARI CONDORI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74625700
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-0554-5846
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JOSÉ ANGEL PORLLES LOARTE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	25629269
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1517-6642
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	JORGE LUIS CARDENAS RUÍZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06627695
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06690674
Datos del Trabajo de Suficiencia Profesional	
Línea de investigación	C.0.4.1. Desarrollo de modelos, simulación y optimización de procesos
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Los Olivos Latitud: 11°57'42"S Longitud: 77°3'58"W
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del Ing. JORGE LUIS CÁRDENAS RUÍZ; Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN (Miembro) y el Dr. JOSÉ ANGEL PORLLES LOARTE (Asesor); habiendo presentado para tal efecto el TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, titulada "Mejora de la calidad aplicando Lean Six Sigma en el proceso de extrusión de barras para aumentar la productividad en una empresa Fabril, 2023" después de SUSTENTADA Y APROBADA el trabajo de suficiencia profesional elaborado por la bachiller en Ingeniería Química: ANYELA ELIEZER CANCHARI CONDORI; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERO QUÍMICO, acordaron calificarlo con la NOTA de:

DIECIASEIS

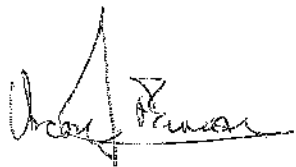
(LETRAS)

(19)

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.


Ing. JORGE LUIS CÁRDENAS RUÍZ
Presidente


Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN
Miembro


Dr. JOSÉ ANGEL PORLLES LOARTE
Asesor


Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Porlles Loarte José Angel en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N °000026-2024-D-FQIQ/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional, cuyo título es **“Mejora de la calidad aplicando Lean Six Sigma en el proceso de extrusión de barras para aumentar la productividad en una empresa Fabril, 2023”**, presentado por la bachiller en Ingeniería Química Canchari Condori Anyela Eliezer para optar el título Profesional de Ingeniera Química CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **11%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 25629269

Nombres y apellidos del asesor:

Porlles Loarte José Angel

Huella
digital



Agradecimientos

Agradezco a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo, particularmente:

A Dios, quien ha sido mi guía y mi fortaleza en toda mi vida personal, universitaria y profesional.

A la empresa, donde me permitieron realizar el desarrollo de este trabajo, a mi supervisor directo por su orientación y relevantes sugerencias.

A mis profesores, quienes contribuyeron con sus enseñanzas y especialmente a mi asesor Mg. José Porlles por los conocimientos compartidos, la motivación y la paciencia invertida.

A mis padres Salomé y Marcelino, por ser el mejor ejemplo de esfuerzo y superación, por su apoyo y amor incondicional, así como sus consejos para crecer como persona y profesional.

A mi compañero de vida y colega Joseph, por las ideas y conocimientos compartidos durante el desarrollo de este trabajo, su motivación constante y potenciarme a conseguir mis metas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 9

CAPÍTULO II. PROBLEMÁTICA..... 11

2.1 Planteamiento del problema 11

2.2 Descripción del problema..... 11

2.3 Objetivos de la investigación..... 16

2.4 Justificación..... 17

2.5 Limitante de la investigación..... 18

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO..... 19

3.1 Antecedentes..... 19

3.2 Bases teóricas 20

3.3 Desarrollo productivo de barras extruidas con relleno 32

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS..... 35

4.1 Fase “definir”..... 35

4.2 Fase “medir” 39

4.3 Fase “analizar”..... 52

4.4 Implementar..... 57

4.5 Fase “controlar” 59

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 62

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES..... 64

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES 66

REFERENCIAS 67

Lista de Tablas

Tabla 1. *Organización de las actividades del Trabajo de Suficiencia Profesional*

Tabla 2. *Clasificación del OEE*

Tabla 3. *Interpretación de valores de Cp*

Tabla 4. *Relación Cp, PPM y Nivel Sigma*

Tabla 5. *Comparación entre Lean y Six Sigma*

Tabla 6. *Composición de mezcla empleada en la producción de barras*

Tabla 7. *KPI's relacionados con la importancia para el cliente*

Tabla 8. *Matriz de priorización para la selección de proyectos*

Tabla 9. *Metodologías de solución al proyecto seleccionado*

Tabla 10. *Diagrama de alto nivel (SIPOC)*

Tabla 11. *Identificación de VOC y CTQ's*

Tabla 12. *Carta del Proyecto*

Tabla 13. *Datos MSA “y1”*

Tabla 14. *Tabla de datos medidos variable y1 “pesos”, y2 “largo”*

Tabla 15. *Resumen de los resultados obtenidos para cada boquilla de salida del extrusor*

Tabla 16. *Datos de variables “x”*

Tabla 17. *Análisis de varianza*

Tabla 18. *Regresión lineal múltiple de las variables significativas*

Tabla 19. *Análisis de correlación de coeficientes*

Tabla 20. *Simulación de parámetros en la ecuación*

Tabla 21. *Estado de la desviación de consumo de relleno y costos*

Tabla 22. *Estado de los ajustes e impacto en la eficiencia*

Lista de Figuras

Figura 1. *Estructura del producto bajo estudio “barra extruida y rellena”*

Figura 2. *Cantidad acumulada mensual de faltante de relleno*

Figura 3. *Pérdidas de eficiencia anual por ajuste de equipo (2019-2023)*

Figura 4. *Pérdidas eficiencia mensual por ajuste de equipo/proceso*

Figura 5. *Pareto de tiempos de ajustes de equipo/proceso*

Figura 6. *Modelo de trabajo de la filosofía Lean Manufacturing*

Figura 7. *Representación de la herramienta TPM y sus pilares*

Figura 8. *Procesos con calidad Tres y Seis Sigma*

Figura 9. *Fases de la metodología DMAIC*

Figura 10. *Modelo de trabajo de la filosofía Lean Manufacturing*

Figura 11. *Descripción del proceso de barras extruidas rellenas y parámetros medidos en el proceso (Línea completa de extrusión)*

Figura 12. *Parámetros de la evaluación del proyecto*

Figura 13. *Balance de masa estado actual*

Figura 14. *Variables de entrada y de salida del proceso de extrusión de barras de cereal con relleno*

Figura 15. *Análisis de medición para Variable y (Peso), estudio R&R*

Figura 16. *Prueba de Normalidad de distribución para datos y_1*

Figura 17. *Prueba de Normalidad de distribución para datos para y_2*

Figura 18. *Análisis de capacidad para variable y “Pesos Promedio de las 6 boquillas”*

Figura 19. *Tabla de datos medidos variable “ y_2 ” largo de barra extruida*

Figura 20. *Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 1.*

Figura 21. *Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 2*

Figura 22. *Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 3*

Figura 23. *Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 4*

Figura 24. *Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 5*

Figura 25. *Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 6*

Figura 26. *Boquillas de dosificador de relleno de la máquina extrusora bajo análisis*

Figura 27. *Diagrama causa – efecto*

Figura 28. *Pareto de influencia de variables x sobre y*

Figura 29. *Balance de masa en extrusor después de la implementación*

Figura 30. *Análisis de Capacidad del proceso para y_1 después de la implementación*

Figura 31. *Análisis de Capacidad del proceso para y_2 después de la implementación*

Figura 32. *Análisis de Modos de Falla y Efectos*

Figura 33. *Flujograma de actualización AMEF*

RESUMEN

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) tiene un enfoque cuantitativo, con diseño experimental y de carácter aplicativo, en la medida que el análisis de la problemática y el diseño de solución se ha realizado utilizando la metodología LSS. En ese marco, el objetivo central del trabajo consistió en evaluar el fortalecimiento de la productividad, para lo cual se requiere analizar mecanismos para mejorar la calidad en el proceso de extrusión de barras extruidas rellenas con crema de chocolate (categoría galletas) en la referida empresa fabril, aplicando la metodología Lean Six Sigma. La problemática, se enfoca en las pérdidas de eficiencia productiva por variaciones en el tamaño (largo) de las barras y costos de fabricación debido a un sobreconsumo de relleno, superando el 55% de peso especificado, lo referido tienen como causa raíz la variabilidad en el proceso, así como algunas condiciones básicas del equipo. Como resultado del análisis se ha ejecutado la mejora de algunas variables que tienen efecto sobre la productividad de la empresa bajo análisis. Estos resultados son los siguientes: reducción del porcentaje de consumo de relleno en 1.74% y reducción del porcentaje de pérdida de eficiencia en 1.72%. Este trabajo refleja el aporte de las competencias que el autor de la presente investigación desarrolló en la elaboración del presente TPS.

Palabras clave: Lean Six Sigma; Extrusión; TPM; DMAIC; Lean Manufacturing

ABSTRACT

The present Work of Professional Sufficiency (TSP) has a quantitative approach, with an experimental design and of an applicative nature, to the extent that the analysis of the problem and the design of the solution have been conducted using the LSS methodology. Within this framework, the main objective of the work consisted of evaluating the strengthening of productivity, for which it is necessary to analyze mechanisms to improve quality in the extrusion process of extruded bars filled with chocolate cream (cookie category) in the referred company by applying the Lean Six Sigma methodology. The problem is centered on production efficiency losses due to variations in the size (length) of the bars and manufacturing costs due to an overconsumption of filling for each bar exceeding 55% of the specified weight, which have as root cause the variability in the process, as well as other basic conditions of the equipment. As a result of the analysis, the improvement of some variables that influence the productivity of the company under analysis has been implemented. These results are the following: reduction of the percentage of filler consumption in 1.74% and reduction of the percentage of efficiency loss in 1.72%. This work reflects the contribution of the competences that the author of this research determined in the development of this TPS.

Keywords: Lean Six Sigma; Extrusion; TPM; DMAIC; Lean Manufacturing

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el desarrollo industrial del sector manufacturero no primario en el Perú presenta un crecimiento lento; si bien, en el año 2021 registró crecimiento del 18.7 % como recuperación de la caída del año 2020 (efecto COVID), para el año 2022 registró una disminución al 1.81 % y se prevé actualmente solo un crecimiento de 1.6 % en 2023 (INEI, BCR Proyecciones: Estudios Económicos Scotiabank, 2022). Situación similar sucede en el sector de alimentos y bebidas, ya que diversos sucesos relacionados con la pandemia COVID 19, fenómenos meteorológicos, conflictos como la invasión rusa a Ucrania, generaron un aumento de precios de los alimentos, desacelerando además el incremento de su productividad.

La globalización y a la inflación en los precios de alimentos en la actualidad está impulsando a las empresas en la búsqueda de la mejora continua de sus procesos que le permitan incrementar su productividad y mantener su nivel de competitividad en el mercado. Por ello, la aplicación de metodologías innovadoras como Lean Six sigma, TPM, 5's y otros, son indispensables para lograr mejorar procesos productivos y fortalecer el nivel de competitividad.

En este sentido, la empresa fabril bajo estudio requiere mejorar sus diversas operaciones, tal como es el caso particular de la línea de extrusión de barras rellenas (categoría galleta), en el cual se ha generado pérdidas de eficiencia y desviación de determinados parámetros (desviación de consumo de cantidad de relleno con respecto al estándar, pérdidas de eficiencia por disponibilidad de los equipos para realizar ajustes), generándose la necesidad de ciertos ajustes para mejorar el nivel de productividad.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito diseñar y aplicar progresivamente una mejora en la calidad del proceso productivo de extrusión en la empresa fabril bajo estudio, por lo cual se utilizó Lean Six Sigma el cual tiene como soporte en la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), el cual es un ciclo sistemático y científico basado en eliminar pasos improductivos para eliminar la variación y defectos en el proceso, lo cual se traducirá en el aprovechamiento de sus recursos, mejorando la eficiencia, la calidad de productos para finalmente mejorar la productividad y por tanto la tan ansiada competitividad.

1.1 Información del lugar donde se desarrolló la actividad

La actividad se desarrolló en las instalaciones de la Planta Galletas de una empresa fabril ubicada en la ciudad de Lima, Perú.

1.2 Finalidad y Objetivos de la entidad

La referida empresa fabril tiene como visión ser una compañía respetada no solo en el Perú sino en toda Latinoamérica, mantiene el trabajo para crear valor compartido, de manera que cuide los efectos económicos, sociales y medioambientales; su propósito es dar siempre lo mejor. El modelo de negocio de la empresa tiene como base pilares para desarrollar la sostenibilidad, la cual a su vez busca mantener buenas relaciones con los diversos grupos de interés, estos pilares están basados en liderazgo, confianza, cultura, vida saludable, cuidado del entorno (Reporte de Sostenibilidad de la empresa, 2019).

1.3 Periodo de duración y organización de la actividad.

De acuerdo con el plan de TSP aprobado por la Facultad de Química e Ingeniería Química, las labores de trabajo de investigación se realizaron durante los meses de agosto hasta finales de noviembre 2023, el cual se ha enmarcado en un cronograma de trabajo (tabla 1) que se presenta a continuación:

Tabla 1

Organización de las actividades del Trabajo de Suficiencia Profesional

ACTIVIDADES /SEMANAS	Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión de la estructura del TSP																
Definición de la Problemática																
Redacción del Plan de Tesis																
Marco teórico: Antecedentes																
Marco teórico: bases teóricas																
Desarrollo de la metodología de trabajo																
Análisis de causa raíz																
Toma de datos y muestras																
Propuesta de Implementación de mejoras																
Resultados del análisis y discusión																
Redacción de informe final																

CAPÍTULO II. PROBLEMÁTICA

2.1 Planteamiento del problema

El problema central de este trabajo recae en la baja productividad apreciada por ineficiencias y costos de fabricación en la línea extrusor (línea galletera de la empresa fabril) que obviamente afecta el nivel de competitividad en un ambiente de reñida competencia de empresas que se dedican a la fabricación de alimentos de consumo masivo en la categoría de galletas, lo que impulsa la adopción de acciones de mejora de la calidad en los procesos de fabricación.

2.2 Descripción del problema

2.2.1 Ámbito internacional

En un contexto de postpandemia COVID 19, crisis del cambio climático, amplificado por la guerra de Ucrania y Rusia, los cuales tuvieron efecto en el aumento de los precios de los alimentos y energía a nivel mundial. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2023) afirma que el crecimiento de las empresas manufactureras se ha desacelerado desde 7.4% en 2021 hasta el 3,3 % en 2022.

De acuerdo con estas estadísticas podemos inferir que los costos de insumos sumados a los costos operativos tienen el mayor impacto en la industria del sector consumo masivo. En consecuencia, uno de los mayores desafíos de la industria de este sector para lograr el incremento de su productividad y de esta manera mantenerse o aumentar su rentabilidad en el mercado es a través de la optimización y mejora de la calidad de sus procesos.

La Society for Quality (ASQ) representada por una comunidad de expertos en calidad a nivel local, regional e internacional que desarrollan y aprueban estándares de calidad, entre ellos la ISO 9001, ISO 26000 e ISO 14001, así como otros estándares de calidad, menciona que un sistema de gestión de calidad implementado trae como beneficio una mayor productividad, lo cual a su vez significa mayor rentabilidad para las organizaciones. Es por ello, que ASQ brinda capacitaciones y certificaciones en diversas herramientas, así como metodologías para mejorar la Calidad de los procesos, entre los cuales se destaca el Lean Six Sigma (ASQ, 2023, <https://asq.org/quality-resources/total-quality-management/tqm-gets-results>).

La implementación efectiva de Lean Six Sigma, tal como plantea Stone (2019) permite a las organizaciones mejorar la calidad de sus productos, reducir costos con un enfoque en la satisfacción de las necesidades del cliente, generando diferenciación y competitividad entre otras empresas del mercado. Además, existen organizaciones internacionales que mejoran los estándares de esta metodología, así como lo es la Asociación Internacional para la Certificación Six Sigma (International Association for Six Sigma Certification, IASSC) un organismo de certificación externo independiente que ofrece pruebas universales de estándares de certificación Lean Six Sigma basados en criterios establecidos, reconocidos y publicados. (IASSC, <https://iassc.org/>)

2.2.2 *Ámbito nacional*

El sector de alimentos y bebidas es uno de los sectores más importantes para el crecimiento económico del Perú, este sector aporta el 26,2% del PBI Manufacturero (aproximadamente 3,7% del PBI Nacional), además, tiene un mercado importante en el exterior, llegando a exportar un equivalente a US\$ 1,429 millones (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2022). Asimismo, el Ministerio de Producción del Perú (PRODUCE) en su reporte de Producción Manufacturera de junio 2023, indicó que la producción manufacturera se contrajo en 14.6% con respecto al mes anterior; en tanto, la producción de bienes de consumo masivo disminuyó en -3.8%.

En una entrevista por parte de Diario Gestión, se documentó en la Revista “Industria Alimentaria”, donde el presidente del Comité de Alimentos de la Sociedad Nacional de Industria (SNI), Alejandro Daly, mencionó que los bienes masivos de consumo entre ellas golosinas y galletas han seguido la tendencia negativa de la manufactura no primaria, que de abril a mayo 2023 ha caído en 6.8% respecto al año pasado. Sin embargo, a pesar de este escenario, Antonio Castillo, gerente de Estudios Económicos de la SNI, ha pronosticado un crecimiento moderado de la industria de galletas (Revista Industria Alimentaria, 2023, <https://www.industriaalimentaria.org/>)

Esta problemática se refleja en virtud de que, en el Perú, el titular del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) comentó que el país se encontraba en una recesión económica, y mencionó como medida el énfasis en la industrialización (Diario Oficial El Peruano, 2023). Esta situación, amerita realizar por parte del sector empresarial los mayores esfuerzos en busca de la optimización y mejora de los procesos para bajar costos de producción y mantener su rentabilidad y nivel de competitividad; sobre todo, en el caso

del sector de alimentos que requiere dichas acciones por cuanto parte de su producción se orienta hacia el mercado externo.

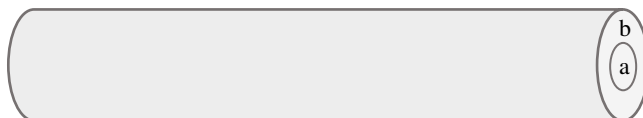
Es preciso mencionar que en una planta de producción la variación es inevitable y se tiene que controlar la desviación de los procesos para reducirla a los límites aceptables, debido a que cualquier desviación en los estándares establecidos, tendrá como consecuencia una falla en la calidad del producto. Por ello, para el éxito de la industria de galletas en el Perú, se debe tener una visión de generación de una ventaja competitiva, la cual requiere de la supervisión, control de los procesos y la minimización de los desperdicios, para aprovechar los recursos que se tienen al alcance para ser eficientes.

2.2.3 Caracterización de la realidad problemática en la empresa fabril

El trabajo realizado gira en torno del proceso de producción de la línea “Extrusor” en la cual se producen distintos productos como cereales para desayuno y barras extruidas en base de harina con relleno de crema sabor chocolate (categoría galletas), siendo esta última el producto bajo estudio, para un mejor entendimiento del producto, se visualiza una representación en la figura 1 donde “a” ubicado en el centro es el relleno y “b” es la harina extruida.

Figura 1

Estructura del producto bajo estudio “barra extruida y rellena”

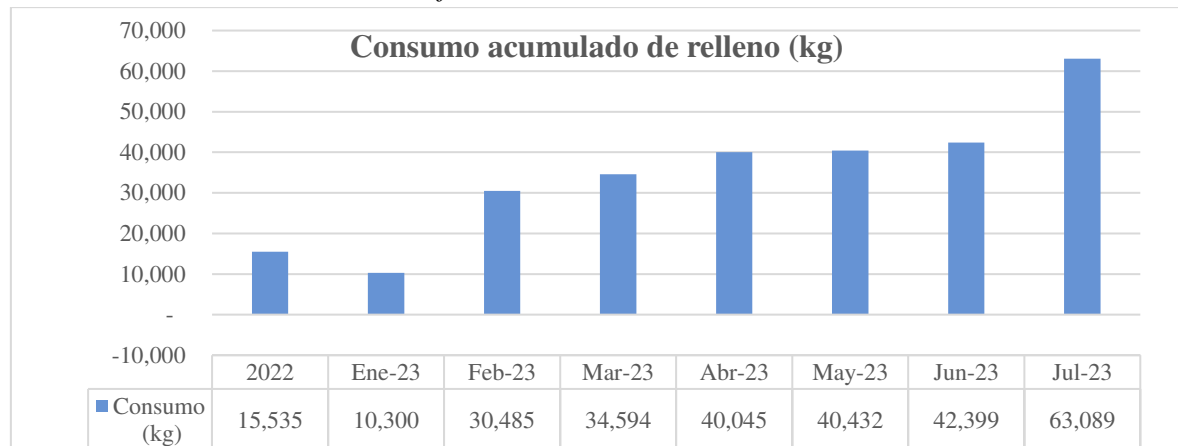


Nota. Fuente: Elaborado en base al producto de la empresa fabril

En los últimos años (2022-2023) la referida línea en la producción de barras con relleno ha registrado desviación de costos en materia prima relacionados a un mayor consumo de relleno registrados en los inventarios de la línea “extrusor”, lo cual indica que para compensar el peso requerido de la barra se estaría dosificando mayor % en peso de relleno tal como se visualiza en la Figura 2, esto afecta a los costos de producción debido a que el costo del relleno es mayor al costo del extruido, 4.3 y 2.3 soles por kilogramo respectivamente (valores aproximados en base a la información de la empresa).

Figura 2

Cantidad acumulada mensual de faltante de relleno

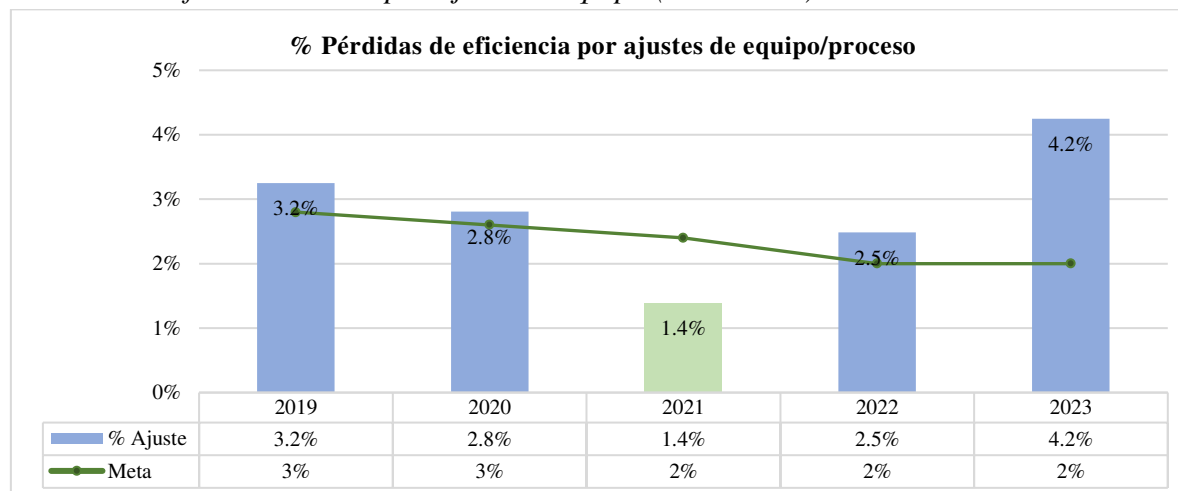


Nota. Fuente: Elaborado a partir de la información proporcionada por la empresa fabril

Por otro lado, en la Figura 3 y 4 se evidencia los % de pérdidas de eficiencia en la línea “extrusor” por disponibilidad del equipo a causa de realizar ajustes de equipo o proceso. A nivel anual (figura 3) se observa que el porcentaje de ajustes acumulada hasta junio 2023 representa un 4.2% de la eficiencia; observándose una tendencia creciente mensual en la Figura 4, donde 5.1% de la eficiencia se registró en junio de 2023 lo cual supera la meta establecida por la corporación que es 2%, cabe esclarecer que la empresa fabril basa sus indicadores claves de rendimiento (key performance indicator, KPI) en metas mensuales y anuales con el fin de mejorar su productividad.

Figura 3

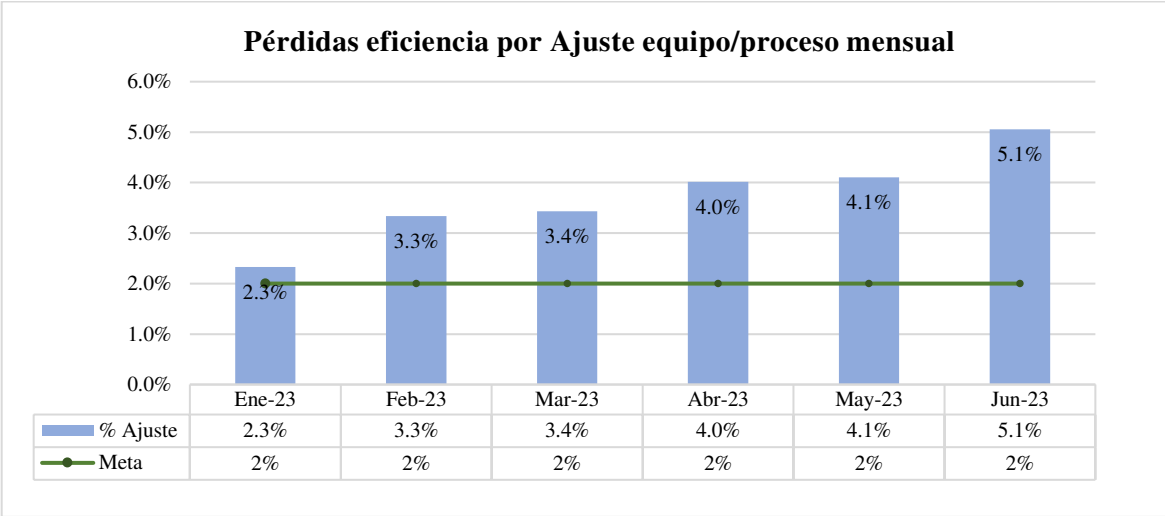
Pérdidas de eficiencia anual por ajuste de equipo (2019-2023)



Nota. Fuente: Estadística de la empresa fabril

Figura 4

Pérdidas eficiencia mensual por ajuste de equipo/proceso

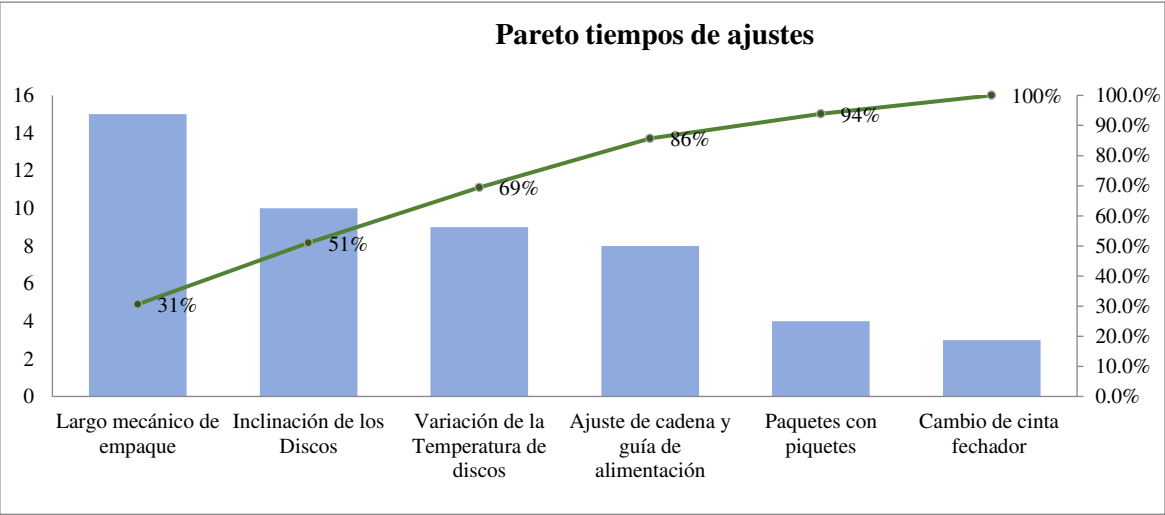


Nota. Fuente: Estadística de la empresa la empresa fabril

Según el Pareto de ajustes en la Figura 5, el mayor tiempo de detención del equipo se configura para realizar ajustes de largo mecánico del empaque, en las envasadoras, lo cual está estrechamente relacionado con la variación en el parámetro de largo de la barra.

Figura 5

Pareto de tiempos de ajustes de equipo/proceso



Nota. Fuente: Estadística de la empresa Molitalia S.A

Reflexión final,

Por lo tanto, de lo expuesto se puede apreciar lo siguiente:

- Por el lado de los efectos o resultados: la línea “extrusor” presenta pérdidas en los costos de producción por desviaciones en el consumo de relleno estándar.
Además, se configura niveles de pérdida de eficiencia por ajustes en la línea Extrusor por encima de la meta establecida por la empresa de 2%, ello principalmente a detenciones por la máquina debido a variaciones en dimensiones de largo de barras extruidas rellenas, lo que implica ineficiencia o fallas que requieren de ajustarse.
Además
- Por el lado de las posibles causales se puede comentar lo siguiente:
Variabilidad en el proceso de extrusión, que trae como consecuencia la entrega de barras extruidas con distintos parámetros de largo, lo cual genera ajustes en el largo mecánico del empaque, en las máquinas envasadoras de la línea, de modo que al ser envasados requiere de paradas en la máquina para ajustar dicho parámetro.
Asimismo, la variabilidad de la capacidad del proceso de entregar productos con poca variación repercute en la desviación de costos de producción por diferencias en las proporciones de relleno y de extruido en base de harina, lo cual impacta en el indicador de costos de producción, afectando el nivel de competitividad.
Precisamente, con el propósito de mitigar las referidas variabilidades, se propone mejorar la calidad en el proceso de extruido aplicando la metodología LSS.

2.3 Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo central

En el presente trabajo, el objetivo central consistió en evaluar el fortalecimiento de la productividad, para lo cual se requiere analizar asimismo mecanismos para mejorar la calidad en el proceso de extrusión de barras extruidas con crema sabor a chocolate (categoría galletas) en la referida empresa aplicando la metodología Lean Six Sigma.

2.3.2 Objetivos específicos

De acuerdo con la literatura, la metodología DMAIC es una herramienta de análisis de Lean Six Sigma; metodología que se ha utilizado para evaluar la problemática bajo análisis; la cual implicó realizar determinadas actividades que permitieron obtener los siguientes objetivos:

- Determinar las variables más influyentes en la calidad del proceso de extrusión.
- Reducir el rango del parámetro aceptable de las variables más influyentes, para disminuir la variabilidad del proceso y por ende en los parámetros fuera de parámetro (productos defectuosos).
- Reducir en 3.1% el sobreconsumo de relleno en las barras extruidas.
- Reducir el 2.2 % de eficiencia pérdida a causa de Ajustes en el equipo o proceso.
- Implementar herramientas de Análisis de Modo de Falla y Efectos Potenciales (AMEF), así como el Plan de Control (PC) como medida preventiva de fallas que afecten a la calidad del proceso.
- Establecer un proceso estándar de actualización de AMEF y PC ante una desviación en el proceso.

2.4 Justificación

2.4.1 Impacto económico

El presente trabajo a través del uso de la metodología Lean Six Sigma, como metodología innovadora, permite identificar y eliminar el desperdicio en los procesos, lo que lleva a una mayor eficiencia productiva en beneficio de la economía de la organización.

Esto resultará en tiempos de producción más cortos y procesos optimizados generando una mayor rentabilidad para la referida empresa fabril que pertenece al sector consumo masivo (alimentos).

Asimismo, al mejorar los procesos y eliminar el desperdicio, Lean Six Sigma ayuda a mejorar la calidad del producto, lo que lleva a una mayor satisfacción y lealtad del cliente y una reputación más sólida para la empresa, lo cual se podría traducir en un aumento de las ventas.

2.4.2 Impacto social

Según el Organismo de la Naciones Unidas (2023) existe evidencia de que un sector manufacturero próspero es clave para aumentar la productividad y, por tanto, el crecimiento económico en un país. Por lo cual, el presente trabajo contribuye también con los Objetivos de Desarrollo Económico (ODE) planteados en la Agenda 2030 que promueve el desarrollo de la industria a través de utilización de los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y

ambientalmente razonables. Además, también contribuye con los ODS de salud y bienestar ya que Lean Six Sigma ayuda a estandarizar procesos y mejorar el control de calidad, lo que reduce el riesgo de incidentes de seguridad alimentaria.

Por otro lado, Lean Six Sigma también ayuda a mejorar el compromiso de los empleados al involucrarlos en la mejora de procesos, lo cual los mantendrá motivados y comprometidos incrementando de esta manera su productividad.

2.4.3 Impacto institucional

El presente trabajo a través de la metodología planteada permite la mejora de la toma de decisiones, ya que el enfoque de Lean Six Sigma proporciona información valiosa sobre los procesos y sus desviaciones que ayudan a una mejor toma de decisiones y una mejora continua.

2.5 Limitante de la investigación

2.5.1 Limitante de recursos

Debido a la limitante presupuestal en la empresa para la implementación de la metodología Lean Six Sigma (LSS), esta se desarrolló como parte de los proyectos de mejora del Pilar de Mejora Focalizada (MF) de la metodología Total Productive Maintenance (TPM), el cual ya se encuentra implementado en la referida empresa.

Por lo tanto, dicha limitante se convirtió en una oportunidad y la metodología TPM en una fortaleza de la organización debido a que se demuestra que es factible complementar las actividades que se realizan dentro del Pilar MF con la metodología LSS, concluyendo que el TPM contribuye en la resolución de la referida problemática en la línea extrusor.

2.5.2. Limitantes de espacio

En el desarrollo del proyecto, se tuvo como limitante la producción discontinua del producto bajo estudio. Esto, como consecuencia a la baja demanda del producto en relación con la temporada y días festivos en el calendario, por lo cual la recolección de datos se retrasó con respecto a las fechas previstas. Asimismo, fallas mecánicas relacionadas con los equipos del proceso de producción de la línea “Extrusor” también interfirieron en las fechas programadas según el cronograma de desarrollo establecido previamente.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del presente trabajo, se estimó importante revisar determinadas teorías y conceptos vinculados a las variables objeto de análisis: mejora de la calidad en el proceso productivo de extrusión y productividad, con el propósito de contar con elementos de juicio para el planteamiento de las medidas a adoptarse para lograr el objetivo de la investigación. Asimismo, se revisó antecedentes teóricos y empíricos o estado del arte de trabajos similares que se encuentran en la literatura que también permitieron delinear contribuciones para lograr el objetivo planteado.

3.1 Antecedentes

3.1.1 *Ámbito internacional*

Marín et al. (2023) en su artículo “Aplicación de la metodología Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno” abordaron el objetivo de reducir el alto porcentaje de desperdicios utilizando la metodología Lean Six Sigma, por medio del cual se lograron identificar variables que poseían un efecto significativo en el producto final, y así determinar las mejoras para mejorar y controlar el proceso productivo. Como resultado obtuvieron una reducción de 66% de los defectos por millón de oportunidades (DPMO).

Ramírez y Reinoso (2022) en su trabajo “Propuesta para la implementación de herramientas seis sigmas en la etapa de empaque para reducir la variabilidad de peso en la galleta salada tipo Cracker en la empresa Combustibles Integrales S.A.S”, el resultado de aplicar las referidas propuestas de mejoras redujo en un 2.79% el porcentaje de sobrepeso confirmando el impacto positivo del uso de la referida herramienta LSS.

Perez y León (2018) en su artículo “DMAIC como estrategia para control de dureza en la fabricación de galletas”, utilizó la herramienta LSS, con el objetivo de controlar el parámetro de dureza en el proceso de fabricación de galletas. Después del desarrollo de la referida metodología DMAIC lograron estandarizar la mezcla de insumos que permitió mantener el parámetro dentro de los límites de calidad establecidos; obteniendo una reducción de devoluciones, incremento en la cantidad de producto en buen estado, lo cual permitió mayores ingresos a la empresa.

3.1.2 *Ámbito nacional*

Díaz y Licapa (2022) en su tesis “Mejora del proceso de extrusión de una planta productora de telas no tejidas mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma” cuyo objetivo estuvo enfocado en la reducción de la generación de productos defectuosos mediante el uso de LSS. Posteriormente a la implementación de la de las mejoras, estimaron una disminución de índice de desperdicio de 11.92% a 10.72%. Además, resaltaron que los resultados conseguidos pueden servir a nuevos investigadores que deseen aumentar la productividad de sus empresas.

Reinoso Vásquez (2016) en su tesis “Mejora del proceso de extrusión de una planta productora de telas no tejidas mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma”, desarrolló una propuesta de mejora con el objetivo de reducir el número de productos defectuosos (waste) en una planta de producción de neumáticos, aplicando LSS logró reducir 31% de productos defectuosos, después de la implementación de ciertas mejoras.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 *Conceptualización de Proceso de producción*

Según Down et al. (2005) un proceso es una combinación de proveedores, fabricantes, gente, equipos, materiales de entrada, métodos y medio ambiente cuyo trabajo produce un resultado que un cliente va a utilizar, este resultado puede ser un producto o servicio.

Los procesos implican actividades de transformación, tal como lo menciona Ucha (2010) un proceso de fabricación es una transformación de una o varias materias primas para crear un producto utilizado por un cliente.

Cuello de botella

Un cuello de botella en un proceso de producción se define como “recurso cuya capacidad es inferior a la demanda colocada sobre esté” (Gamarra y Jiménez, 2012, p. 32).

En el caso de la línea bajo estudio en el presente trabajo, el cuello de botella se encuentra en las envasadoras; en consecuencia, cualquier defecto en la máquina, mano de obra o en el producto al momento de ser envasado afecta a la eficiencia de la línea y por ende a la productividad de esta.

3.2.2 Conceptualización de la Productividad

Existen varias definiciones para el término productividad, las cuales se complementan entre sí. Empleando las palabras de Socconini (2019), “La productividad es un indicador que mide la eficacia de un proceso” (p. 24). Una definición más extensa nos proporciona Allen y Evans (2019):

La productividad es la proporción entre los productos de un proceso y los insumos. Cuando los productos aumentan respecto a un nivel constante de insumos, o cuando la cantidad de insumos disminuye respecto de un nivel constante de productos, la productividad aumenta. Así, una medida de productividad describe cuán bien se usan los recursos de una organización para generar productos. (p.33)

3.2.3 Mejora de la calidad de Procesos

La mejora de procesos es una estrategia importante para lograr una mayor ventaja competitiva en el mercado, en donde “las necesidades del cliente guían la mejora de la calidad de procesos” (Evans et al., 2008, p. 330). En tal sentido, la fidelización de los clientes se basa en el valor entregado, el cual se logra incrementar a través de una mejora continua de los procesos de una empresa; por lo tanto, se puede evidenciar el efecto de la mejora de procesos en la mejora de la productividad. El ciclo de mejoramiento según Down et al. (2005), comprende tres etapas:

- Análisis de procesos: en esta etapa es requisito indispensable lograr un mejor entendimiento del proceso.
- Mantenimiento (control) de procesos: el objetivo de esta etapa es prevenir cambios no deseados; por lo cual, el desempeño del proceso debe ser monitoreado continuamente.
- Mejoramiento de los procesos: luego de haber logrado los objetivos de las primeras etapas, en algunos procesos, aún se puede notar variaciones aún dentro de las especificaciones que afectan al cliente, el mejoramiento del proceso no será notado hasta que la variación se reduzca.

3.2.4 Filosofía Lean Manufacturing

Lean manufacturing es una filosofía que tiene su origen en Japón bajo el modelo de Sistema Productivo Toyota (TPS) desarrollada por Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota. El enfoque de esta filosofía “la persecución de una mejora del sistema de

fabricación mediante la eliminación de despilfarros siendo éstas todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuáles el cliente no está dispuesto a pagar” (Rajadel y Sánchez, 2010, p.2).

Según Taiichi Ohno (1988) las principales mudas o desperdicios se clasifican de la siguiente manera:

- Sobreproducción: producir más de lo que el cliente ha solicitado, trae consigo pérdidas en recursos utilizados como (tiempo, materia prima, mano de obra, maquinaria, energía, otros).
- Exceso de inventario: el cual significa el almacenamiento de un mayor stock en comparación de lo que el cliente necesita, este stock puede ser (materia prima, semiterminados o producto terminado), lo cual genera un impacto en costos de almacenamiento, transporte o por posibles daños en el producto.
- Sobreproceso: son aquellos procesos innecesarios que no aportan valor al cliente.
- Defectos: son productos que se encuentran fuera de las especificaciones requeridas por el cliente.
- Transporte: implica el traslado de materia prima, materiales, equipos y personas que no añaden valor al producto.
- Esperas: entre las causas posibles que generan este desperdicio se encuentran procesos desequilibrados, materias primas no disponibles, fallas, set-up de máquina, etc.
- Movimientos innecesarios: este tipo de muda se refiere a la realización de desplazamientos de materiales, equipos, actividades del personal que implican movimientos innecesarios o con posturas disergonómicas.

Socconini (2019), agrupa las principales herramientas de la filosofía Lean Manufacturing, el cual se encuentra representado en la Figura 6, como herramientas básicas, herramientas para mejorar la efectividad de los equipos, herramientas para mejorar el tiempo de entrega, herramientas para control de materiales y de producción, así como herramientas para mejorar la calidad, las cuales pueden ser implementadas por si solas o en conjunto.

Figura 6

Modelo de trabajo de la filosofía Lean Manufacturing



Nota. El modelo Lean Manufacturing representado por dos grandes pilares Just in Time y Jidhoka las cuales componen de herramientas de acuerdo con el objetivo de cada pilar. Fuente: Socconini (2019).

A. Herramientas básicas de Lean Manufacturing

Forman parte del pilar Jhidoka (Figura 4) son las 5's y control visual que a continuación se describirá brevemente:

Orden y limpieza (las cinco s: 5's)

Esta herramienta tiene por objetivos conseguir una mayor productividad, seguridad y calidad en el lugar de trabajo. Las 5's son: Seiri (Separar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpieza), Seiketsu (Estandarizar), Shitsuke (Autodisciplina). La "1S" nos indica que debemos separar los elementos necesarios y eliminar los elementos que no tendrán una utilización en el área de trabajo, la segunda "S" ordenar los elementos que se han separado como necesarios, implica la agrupación por tipo, por tamaño, entre otros criterios con el objetivo de facilitar su ubicación, en la "3S" se realiza la limpieza, "4s" se estandariza el proceso mediante formatos, controles visuales de manera que todas las personas puedan realizar un mismo procedimiento, y finalmente la "5s" cuyo objetivo es generar el hábito de orden y limpieza a través de la autodisciplina.

Control visual

Son señaléticas visuales o de audio que indican al operador que existe una condición que puede generar la ocurrencia de una falla. Entre los tipos de control visual se encuentran las alarmas, tableros de información, listas de verificación o marcas en el piso.

B. Herramientas para mejorar la efectividad de los equipos

En este punto se presenta con mayor detalle la descripción de la herramienta Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance, TPM) que forma parte del pilar Just in Time (Figura 6), el cual se encuentra ya implementado en la empresa fabril bajo estudio.

Mantenimiento productivo total (TPM)

Esta herramienta es implementada como un sistema integral, cuyo enfoque es reducir desperdicios o despilfarros bajo los conceptos de cero fallas, cero accidentes, cero defectos y participación total del personal involucrado. El TPM es una herramienta crucial para implementar otras herramientas, debido a que su enfoque principal es reducir costos de mantenimiento, el cual representa hasta el 40% de los costos de operación y a menudo 50% de los mantenimientos de tipo correctivo, los cuales pueden ser causados por una mala operación de equipos, inadecuada inspección o lubricación de estos, disminuyendo así su vida útil y ocasionando pérdidas de la eficiencia (Soconini, 2019).

El TPM se ha desarrollado como una metodología integradora de ciertas herramientas de Lean Manufacturing. Además, el TPM es representado como una casa (Figura 7) en donde las columnas representan los pilares que sostienen toda la metodología del TPM, a continuación, se realiza una breve descripción de los pilares implementados en la empresa fabril bajo estudio:

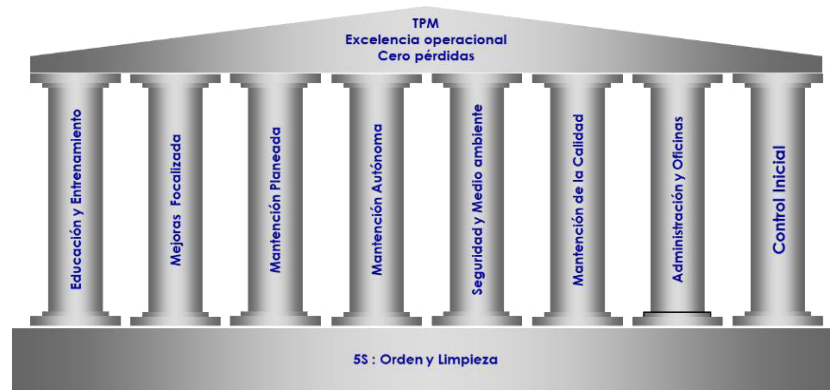
- El objetivo del Pilar de educación y entrenamiento es identificar todas las habilidades que son necesarias en el operador y personal de mantenimiento para que no ocurran pérdidas durante las actividades de producción.
- El objetivo de Pilar de mantenimiento planeado busca reducir el número de fallas por equipo y costos relacionados; mientras que el Pilar de mantenimiento autónomo se enfoca en empoderar al personal operario para identificar oportunidades que

permitan aumentar la vida útil de los equipos y/o restablecer las condiciones iniciales.

- El pilar de Mejora Focalizada tiene como objetivo hacer visible las pérdidas buscando reducirlas o eliminarlas, para incrementar la productividad y agregar valor a los procesos. El objetivo de este pilar se logra con la apertura de proyectos multidisciplinarios que se enfocan en las mayores pérdidas de las líneas productivas y de planta en general.

Figura 7

Representación de la herramienta TPM y sus pilares



Nota. Fuente: Información de la empresa fabril

Indicador de rendimiento Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Los indicadores son el medio para medir la eficacia de las mejoras implementadas usando la metodología TPM, Seiichi Nakajima estableció el indicador de Efectividad Total de los equipos (Overall Equipment Effectiveness – OEE) para medir el rendimiento de los procesos productivos. El cálculo este indicador, requiere calcular tasa de disponibilidad del equipo, la tasa de eficiencia por rendimiento y la tasa de calidad de producto. (Nakajima, 1988). Cabe mencionar que este indicador es utilizado por la empresa fabril bajo estudio para medir la eficiencia global de los equipos, este se representa en la ecuación resultante (3.4)

$$\text{disponibilidad} = \frac{\text{tiempo disponible} - \text{tiempo de Parada}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (3.1)$$

$$\text{rendimiento} = \frac{\text{Cantidad procesada} \cdot \text{Tiempo ciclo ideal}}{\text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo de Parada}} \quad (3.2)$$

$$\text{calidad} = \frac{\text{Cantidad procesada} - \text{Cantidad defecto}}{\text{Cantidad procesada}} \quad (3.3)$$

$$\% \text{ OEE} = \text{disponibilidad} \times \text{rendimiento} \times \text{calidad} \times 100\% \quad (3.4)$$

El OEE define la competitividad de una organización, las empresas hoy en día buscan alcanzar un OEE >95% (Ver Tabla 2), lo cual indica que los valores de eficiencia son de clase mundial y se define una excelente competitividad.

Tabla 2

Clasificación del OEE

OEE	Clasificación	Características
OEE < 65%	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad
65% ≤ OEE < 75%	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad
75% ≤ OEE < 85%	Aceptable	Continuar la mejora para superar el 85 por ciento y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% ≤ OEE < 95%	Buena	Entra en Valores World Class. Buena competitividad.
OEE ≥ 95%	Excelencia	Valores World Class. Excelente competitividad.

Nota. Fuente: Cruelles (2010)

C. Herramientas para mejorar el tiempo de entrega

Siendo del Pilar Just intime (Figura 4) se encuentra:

SMED Single Minute Exchange of Die, cambios rápidos (SMED)

Esta herramienta se enfoca en el logro de tiempos de fabricación más cortos. Estos pueden incluir tiempos de elaboración, de espera y de transporte. SMED ayuda a reducir dichos tiempos de fabricación a través de la identificación y eliminación de causas que originan dicha espera.

D. Herramientas con enfoque para mejorar la calidad

Formando parte del Pilar Jhidoka se encuentra el Análisis de Modos de Falla y Efectos Potenciales (AMEF), el sistema a prueba de errores Poka Yoke, la herramienta de solución de problemas con las 8D's y Six Sigma, siendo este último abordado con mayor

detalle puesto que se relaciona con la metodología aplicada en el presente Trabajo de Suficiencia Profesional.

Análisis de modos de Falla y Efectos Potenciales (AMEF)

Es una herramienta que nos permite identificar fallas en el producto o proceso y anticiparnos al efecto que puedan tener en el cliente interno o externo. Esta herramienta se utiliza al diseñar nuevos productos, en el diseño de procesos, con el objetivo de prevenir fallas en el proceso. Además, es una contribución a la generación de conocimiento de la compañía debido a que se puede documentar los eventos acontecidos, y de esta manera se encuentre disponible para su revisión y actualización cuando un problema vuelva a suceder.

A prueba de errores Poka Yoke

Este método se centra en la prevención de errores humanos en los procesos, el cual se utiliza cuando los procesos estén generando defectos o puedan poner en riesgo a los operadores, dicha herramienta se puede complementar con herramientas estadísticas de Six Sigma como parte de un plan de acción para reducir variabilidad en los Procesos

Solución de Problemas con las 8D's

Las 8D's permite analizar y resolver problemas con un enfoque sistemático y documentado, la información se recopila en ocho etapas por un equipo multidisciplinario, estas etapas comprenden: definir el problema, describir el problema, desarrollar acciones de contención, definir causa-raíz, desarrollar acciones correctivas, reconocer el trabajo en equipo.

Six Sigma y la reducción de variación en el proceso

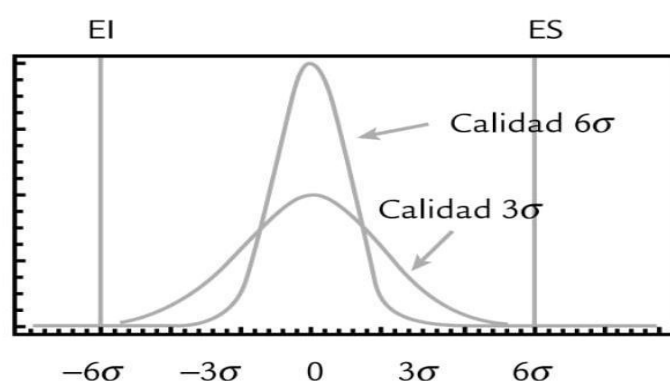
Six Sigma es una estrategia desarrollada por Motorola en los años 80, tras una crisis de competitividad (Socconini, 2019). Esta surge de la evolución de las teorías de calidad y mejora continua, siendo el principal enfoque hacia el cliente. Lo que concuerda con lo expuesto por Evan et al. (2008), que define a Six Sigma como una estrategia para acelerar las mejoras enfocándose en los clientes y la eliminación de defectos en los procesos.

- El **nivel Sigma**: es un indicador de variación de un proceso, el cual refiere a cuantas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso

(ver Figura 8). A partir de esta premisa, “Seis Sigma significa que pueden caber seis desviaciones estándar entre el promedio y la especificación del cliente, lo cual hace que la variación sea tan poca” (Socconini, 2019, p. 263); lo cual tiene relación con lo mencionado por Gutierrez y De la Vara (2009), en un proceso de calidad seis sigmas se obtendrían 3.4 defectos por cada millón de unidades producidas (PPM).

Figura 8

Procesos con calidad Tres y Seis Sigma



Nota. Ejemplo de nivel tres sigmas y seis sigmas.

Fuente: (Gutierrez y De la Vara, 2009, p.110)

- **Índice de capacidad de proceso:** los índices de capacidad a corto y a largo plazo respectivamente son Cp, Cpk o Pp y Ppk, el cálculo del Cp, que representa la capacidad potencial del proceso, resulta de la Ecuación (3.6)

$$C_p = (ES - EI) / 6\sigma \quad (3.6)$$

Donde, σ es la desviación estándar del proceso, ES y EI Límite superior e inferior de especificación respectivamente. Por lo tanto, Cp compara la variación tolerada con respecto a la variación natural o real.

Para que el proceso sea considerado capaz el $C_p > 1$, es decir que la variación tolerada (ES-EI) tiene que ser mayor a la variación natural (Gutierrez y De la Vara, 2009). La interpretación del índice de capacidad Cp se resume en la Tabla 3.

Tabla 3*Interpretación de valores de Cp*

Valor de Cp	Clase del proceso	Decisión
Cp>2	Clase mundial	Si tiene calidad Seis Sigma
Cp>1.33	1	Adecuado
1<Cp<1.33	2	Parcialmente adecuado
0.67<CP<1	3	No adecuado para el trabajo, requiere de modificaciones serias
Cp<0.67	4	No adecuado para el trabajo requiere modificaciones muy serias

Nota. Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2009)

Por otro lado, el índice Cpk, conocido como índice real del proceso, a diferencia del Cp toma en cuenta el centrado del proceso, se obtiene de la Ecuación (3.7)

$$Cpk = \frac{\mu - ES}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \quad (3.7)$$

Si el valor Cpk es menor que el Cp, significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. Es posible tener valores negativos, lo cual indica que la media del proceso está fuera de las especificaciones. Por otro lado, los índices Pp y Ppk son índices enfocados al desempeño del proceso a largo plazo. El Pp se diferencia del Ppk porque no considera el centrado del proceso.

En la Tabla 4 se puede observar un resumen de la relación entre el nivel sigma, la métrica de PPM y el índice de capacidad del proceso.

Tabla 4*Relación Cp, PPM y Nivel Sigma*

Índice Cp	Calidad Sigma Zc	PPm de Corto Plazo	Calidad Sigma ZL	DPMO Largo Plazo
0.33	1	317 300	-0.5	697 700
0.67	2	45 500	0.5	308 700
1.00	3	2 700	1.5	66 807
1.33	4	63	2.5	6 210
1.67	5	0.57	3.5	233
2.00	6	0.002	4.5	3.4

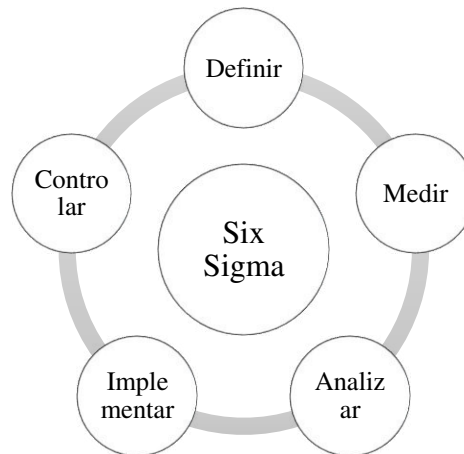
Nota. Adaptado en base a la data de “calidad de corto y largo plazo en términos de Cp, Zc, ZLy PPM” Fuente: (Gutierrez y De la Vara, 2009, p.112)

Metodología DMAIC (Define Measure, Analyze, Improve, Control)

Six sigma utiliza como referente una metodología compuesta de 5 fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar comúnmente llamada DMAIC por sus siglas en inglés (Figura 9)

Figura 9

Fases de la metodología DMAIC



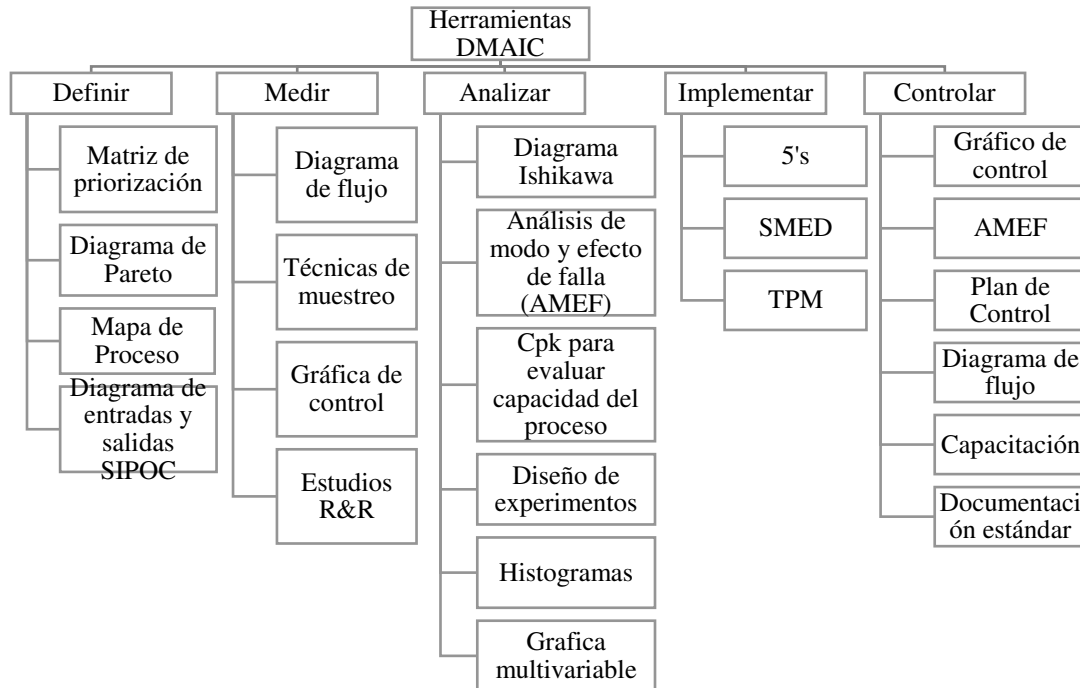
Nota. Elaboración propia

- Define: Es la etapa inicial del proyecto en donde se establece el fundamento de la ejecución del proyecto.
- Medir: El objetivo de esta etapa es entender el estado actual del proceso y medir datos sobre calidad, costo y velocidad.
- Analizar: Se evalúan la estabilidad y capacidad del proceso para producir dentro de las especificaciones, e identificar la causa raíz que lo genera una desviación.
- Mejorar: Se llevan a cabo acciones para mejorar.
- Controlar: Se verifica que se sostengan las mejoras.

Existen diversas herramientas de calidad para DMAIC, tales como Diagrama de Pareto, que reconoce que más de 80% de los problemas en una organización son generados por el 20% de causas; el diagrama de Ishikawa, método gráfico que orienta a buscar causas que afectan el problema bajo estudio; estas y otras herramientas se resumen en la Figura 10.

Figura 10

Modelo de trabajo de la filosofía Lean Manufacturing



Nota. Fuente: Socconini (2019).

3.2.5 Metodología Lean Six Sigma (LSS)

En síntesis, LSS es una metodología que integra las herramientas de filosofía Lean y Six Sigma (Tabla 5); mientras que Lean, tiene un enfoque en la reducción de merma o desperdicios a través del uso de técnicas como 5s, control visual; Six Sigma, en la reducción de variaciones a través de análisis de datos estadísticos (ASQ, 2023).

Tabla 5

Comparación entre Lean y Six Sigma

Herramienta	Lean	Six Sigma
Enfoque teórico	Elimina desperdicios	Elimina variaciones
Directrices de aplicación	Identificar el valor, el flujo de valor, mejora el flujo, busca la perfección	DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar)
Supuestos de enfoque	Se enfoca en el flujo, removiendo desperdicios que mejoraran el desempeño del negocio	Se enfoca en el problema, evalúa las mediciones, la variación en los procesos son reducidos
Efecto primario	Reduce el flujo de tiempo	Salida uniforme del proceso
Efecto secundario	Reduce desperdicios, Rápido rendimiento, menos inventario, mejora calidad	Reduce variación, salida uniforme, menos inventario, mejora calidad
Críticas	Estadísticas o análisis de sistemas no son evaluados, entrenamiento de todos los empleados consume tiempo	No se considera el enfoque sistémico, se realiza la mejora del proceso independiente del sistema

Nota. Fuente Pojasek (2003)

3.3 Desarrollo productivo de barras extruidas con relleno

El proceso productivo de la línea bajo estudio consta de varias etapas desde el pesado y mezclado de materia prima, proceso de extrusión, proceso de corte, etapa de decoración, y finalmente envasado, que se detallaran a continuación.

3.3.1 Proceso de Mezclado

El proceso de mezclado se lleva a cabo en una tolva mezcladora, la formulación está compuesta en su mayor parte de harina de trigo. En la tabla 6, se detalla la composición en base seca:

Tabla 6

Composición de mezcla empleada en la producción de barras

Materia Prima	%
Harina de Trigo	79.9%
Sal	1.0%
Azúcar	17.5%
Fibra vegetal	0.6%
aditivos	1.0%
Total (base seca)	100.0%

Nota. Datos tomados de la referida empresa (2023)

El agua, las grasas y algunos aditivos líquidos son agregados de manera continua, la cual le da la consistencia a la mezcla y favorece al desplazamiento dentro del extrusor.

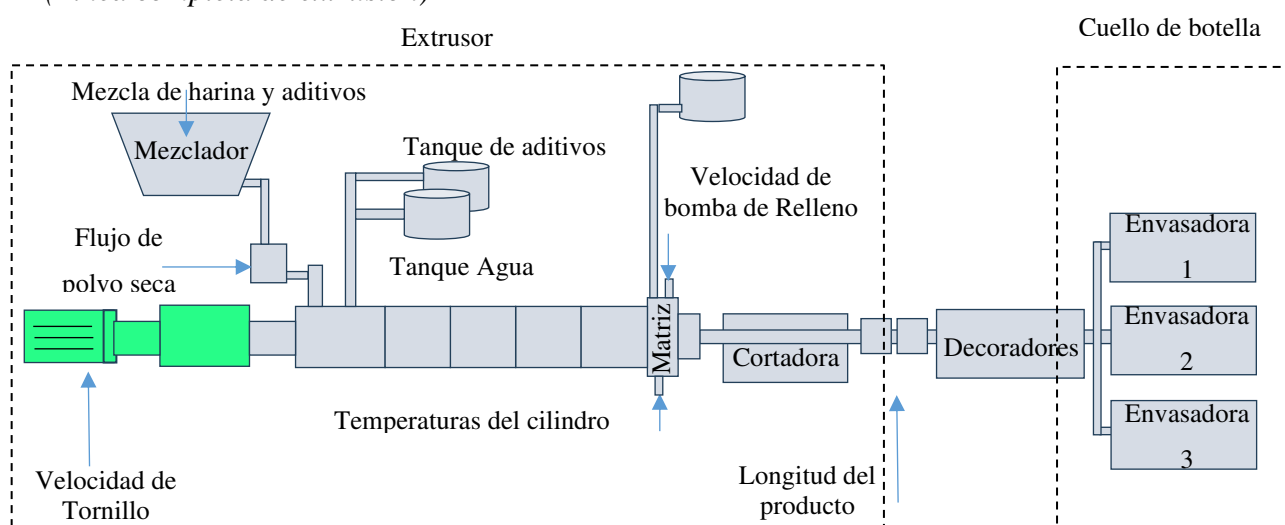
3.3.2 Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión es una operación unitaria que consiste básicamente en forzar el paso de un material a través de una matriz que tiene una forma deseada, bajo ciertos parámetros entre ellos el de temperatura y presión.

El equipo de extrusión (Figura 11), comprende un sistema de doble tornillo helicoidal co-rotativo con 4 zonas de monitoreo de temperatura, el cual se alimenta de la mezcla descrita en la Tabla 6. Para regular la temperatura el sistema de calentamiento cuenta con 4 resistencias eléctricas y recirculación de agua fría en la salida, la cual tiene una matriz intercambiable, esta cuenta con 6 boquillas de forma anular, dicha matriz tiene un acondicionamiento para que se inyecte de cobertura cada una de estas 6 boquillas obteniendo barras rellenas por cada una de ellas.

Figura 11

Descripción del proceso de barras extruidas rellenas y parámetros medidos en el proceso (Línea completa de extrusión)



Nota. Descripción del proceso de barras extruidas rellenas

Los parámetros y variables más importantes que influyen en el proceso de extruido son los siguientes:

A. Influencia de los parámetros del Proceso

Los parámetros como la velocidad de tornillo, temperatura y alimentación, son parámetros cruciales en el proceso de extrusión. Por ejemplo, la velocidad de tornillo influye en la calidad del producto, pequeñas diferencias de velocidad producen variaciones en la cantidad y dimensiones del producto (Scheuermann, 1989), ya que al aumentar el número RPM, el efecto del cizallamiento sobre la mezcla alimentada es mayor, por lo que disminuye su viscosidad, produciendo mayor caudal (Beltrán y Marcilla, 2012).

De igual manera, Ramirez (2023) menciona que, dependiendo de la configuración de tornillo o husillo, ubicado internamente en el cilindro de la Figura 11, entre los parámetros principales se encuentran el diámetro y tipo de matriz, temperatura, velocidad de tornillo, velocidad de alimentación. El diámetro y tipo de matriz son los encargados de dar forma al producto; el control del parámetro de temperatura en el extrusor es importante para evitar la sobrecocción, en el equipo bajo análisis el perfil de temperatura comprende de 4 zonas, que son configuradas bajo una receta que se encuentra registrada en el panel de control.

B. Procesos internos en la extrusión

En el proceso general de extrusión, ocurren ciertos procesos internos tales como la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, eliminación de microorganismos, expansión, procesos de secado, entre otros (Ramirez, 2023).

Proceso de enfriamiento y corte

El proceso de corte se realiza con un equipo tipo guillotina de cuchillas estacionarias, la cual permite obtener las dimensiones de longitud especificadas para cada tipo de barra, a la salida de este equipo se encuentra una faja transportadora que recorre distintas estaciones con sistema de enfriamiento hasta llegar a los decoradores, que constan de bañado adicional de cobertura para finalmente llegar a las envasadoras de Producto terminado.

Proceso de envasado

El proceso de envasado cuenta con tres máquinas de envasado unitario cuyo empaque está determinado por el largo de las barras. Esta área cuenta con una capacidad de empaque menor al producido por el extrusor, determinándose de esta manera un “cuello de botella” en la producción.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

Como se ha mencionado líneas arriba, con el propósito de evaluar la mitigación de la variabilidad en el proceso de extruidos, se aplicó la metodología DMAIC que forma parte de LSS de acuerdo con las etapas establecidas en el numeral de las bases teóricas.

4.1 Fase “definir”

El primer paso para definir el proyecto se enfocó en la problemática descrita en el CAPÍTULO II, dicha problemática se definió a través de reuniones por parte de equipos multidisciplinarios en los que participó el área de producción, procesos, costos, desarrollo y jefatura de planta, en donde se da a conocer el desempeño de los indicadores claves del proceso (KPI) involucrados por cada área.

4.1.1 Selección del proyecto

Adicionalmente, como aporte de este trabajo se implementa la priorización de proyectos de mejora en base a los requerimientos del cliente, tal como lo indica la metodología LSS. A partir de ello, se presentó la matriz de priorización de posibles proyectos de mejora en la línea extrusor (Tabla 8) y se evaluó en base al nivel de afectación de los KPI's y su relación con la importancia del cliente (Tabla 7), valores que a su vez se preestablecieron con los parámetros de la Figura 12.

Tabla 7

KPI's relacionados con la importancia para el cliente

Problemas del cliente	Satisfacción del cliente	Reclamos de cliente	Costos de conversión	Costos de Materia P.	Eficiencia productiva	Desarrollo de productos
Importancia para el cliente	10	5	3	10	10	3

Nota. Elaboración propia

Figura 12

Parámetros de la evaluación del proyecto

Importancia del cliente	Relación con la importancia del cliente	Clasificación del proyecto	Relación con el problema del cliente
0	No es importante	0	Sin correlación
3	Poco importante	3	Muy poca correlación
5	Importante	5	Cierta correlación
8	Muy importante	8	Alta correlación
10	Critico	10	Correlación total

Nota. Fuente: Kelly (2002)

De esta manera se presenta la Tabla 8 Matriz de selección de proyectos, en la cual se muestra la evaluación de 4 proyectos potenciales de mejora, el cálculo de la valoración del proyecto se realizó de la siguiente manera:

$$(10 \times 8) + (5 \times 8) + (3 \times 3) + (10 \times 10) + (10 \times 10) + (3 \times 3) = 338 \quad (4.1)$$

Tabla 8

Matriz de priorización para la selección de proyectos

Problemas del cliente	Satisfacción del cliente	Número de reclamos de cliente	Costos de conversión	Sobre y sub-estándar de costos de materia prima	Eficiencia del proceso	Desarrollo de nuevo productos	
Importancia para el cliente	10	5	3	10	10	3	
Proyecto	Calificación del proyecto						Valor del proyecto
Reducción de variaciones de parámetros especificados en la barra extruida	8	8	3	10	10	3	338
Reducción del tiempo de orden y limpieza en extrusor	8	5	0	0	10	0	205
Optimización de velocidad de producción	3	0	0	0	5	0	80
Reducción de cambios de formato	3	0	0	0	10	0	130

Nota. Elaboración propia

Una vez definido el valor del proyecto, se propuso la metodología LSS en concordancia con lo planteado por Reynoso (2014) en la tabla 9, se aprovechó las actividades para los proyectos del pilar Mejora Focaliza del TPM ya implementados en la

empresa, lo cual permitió reducir costos en su implementación, en el caso de que se hubiera empezado de cero.

Tabla 9

Metodologías de solución al proyecto seleccionado

Grado de importancia	Valor del proyecto	Metodologías propuestas
3°	Menor a 100 puntos	A3 u otras técnicas de solución de problemas
2°	De 100 a 250 puntos	Six Sigma – Green Belt y Black Belt
1°	Mayor a 250 puntos	Six Sigma – Green belt, Black Belt y líder de proceso

Nota. Fuente: Reynoso (2014)

4.1.3 Diagrama de Alto Nivel (SIPOC)

El mapa del proceso de extrusión se realizó a través del diagrama SIPOC, según sus siglas en inglés (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers), tal como se visualiza en la tabla 10, esta herramienta nos permitió entender el proceso de extrusión de manera global.

Tabla 10

Diagrama de alto nivel (SIPOC)

S: Proveedores	I: Entradas	P: Proceso	O: Salidas	C: Cliente
-Materia prima. -Materiales indirectos.	-Aditivos mayores (harina, grasas, etc.) -Aditivos menores (leudantes, saborizantes, etc.)	-Análisis e inspección de materia prima. -Pesado de insumos. -Carga de insumos en los equipos. -Extrusión de la barra de cereal con relleno -Inspección de parámetros del proceso.	-Producto terminado	-Control de calidad -Centros de distribución Clientes directos

Nota. Fuente: Información proporcionada por la empresa

4.1.4 Identificación de críticos para la Calidad (CTQ's) y Voz de Cliente (VOC)

La satisfacción del cliente fue el pilar fundamental para evaluar el proceso, es por ello por lo que en el siguiente entregable, se resume la voz del cliente (VOC) y los críticos para la calidad (CTQ) del proceso determinados, lo cual se ha descrito en la Tabla 11.

Tabla 11

Identificación de VOC y CTQ's

Voz del Cliente	Cliente	CTQ's	Requerimiento
Externo	Consumidor	Material de empaque	El Producto cuente con las especificaciones requeridas
Interno	Aseguramiento de la calidad	Requerimientos regulatorios	Peso del Producto especificado
Interno	Área de costos	Sobrecostos por desviaciones en la proporción de relleno y barra extruida	55% peso relleno, 45% extruida cobertura
Interno	Envasado	Variaciones en las dimensiones de las barras.	Largo de barras especificado

Nota. Fuente: Información proporcionada por la empresa

4.1.5 Carta del Proyecto

Una vez definido los críticos para la Calidad y la Voz del cliente se delimitó las bases del proyecto para su éxito, los cuales están en relación con los objetivos planteados en el CAPÍTULO II de acuerdo con la problemática y la metodología aplicada en el presente trabajo, dichas bases se resumen en la carta del Proyecto, el cual se resume en la Tabla 12.

Cabe mencionar que esta carta de proyecto ayudará a un mejor entendimiento del proyecto a todos los miembros del equipo involucrado.

Un siguiente aspecto para considerar es que toda la documentación implementada a lo largo de este proyecto como la carta presente, deberá ser refinada por el equipo de acuerdo con el proceso bajo análisis y luego se deberá definir un responsable que pueda actualizar cualquier cambio que lo requiera.

Tabla 12:*Carta del Proyecto*

Proyecto: Existe la oportunidad en la variabilidad del proceso extruido.	Situación actual En 2022 -2023 se evidenció una desviación de costos por sobreconsumo de relleno en la línea extrusor siendo 15 Ton (2022) y 63 ton (solo en Julio 2023) Asimismo, la línea presenta pérdidas de 4.2 % de eficiencia anual 2023 y 5.1% en el mes de junio, por ajuste de equipo y de proceso.
Requerimiento crítico del cliente 55% peso: relleno y 45% peso: extruido 90mm: Longitud del producto estándar	Objetivos -Disminuir 3.1% el dosificado de relleno -Disminuir 2.2% de pérdida de eficiencia en ajustes del equipo por la variación de longitud de la barra extruida (galleta)
Alcance del proyecto -Proceso de extrusión -Barras extruidas con relleno de crema sabor a chocolate.	Tiempo de implementación Definir: 20/06/2023-20/07/2023 Medir: 20/07/2023-30/08/2023 Analizar: 30/08/2023-20/09/2023 Mejorar: 20/09/2023-20/10/2023 Controlar: 20/10/2023-30/11/2023

Nota. Elaboración propia

4.2 Fase “medir”

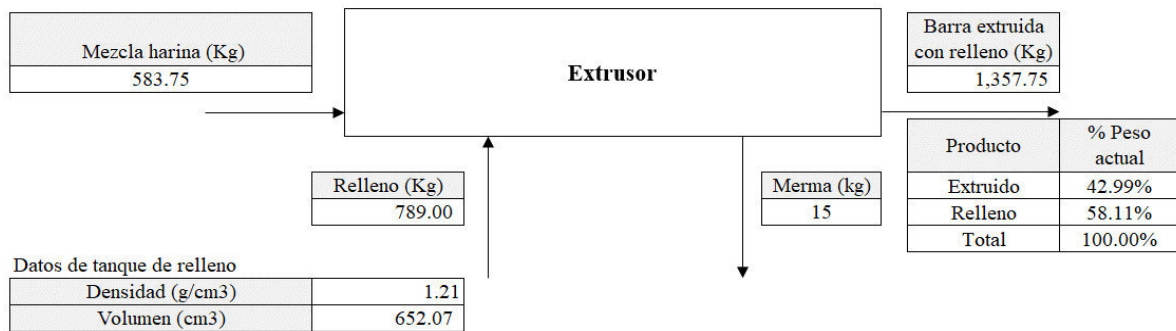
En esta fase, se presenta el estado actual del proceso, en el cual se reconoció las condiciones iniciales del proceso antes de iniciar con el proyecto. Estas mediciones nos dieron mayor claridad para encontrar la causa raíz de las variaciones en la siguiente etapa “analizar”.

4.2.1 Balance de masa general

Se realizó un balance de masa general en la producción de 2 lotes de masa, los resultados de la proporción de relleno vs masa utilizada se resumen en la Figura 13.

Figura 13

Balance de masa estado actual



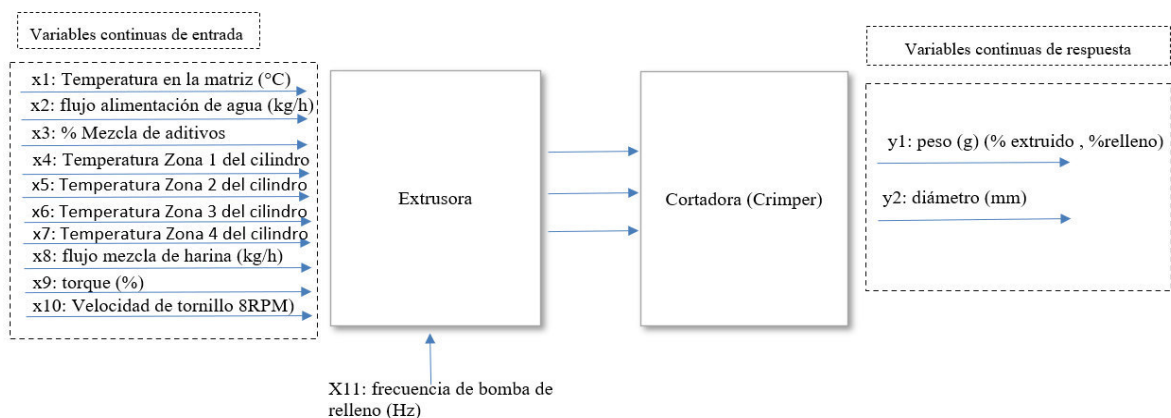
Nota. Elaboración propia

4.2.1 Determinación de tipos de variables

En la figura 14 se plasma el proceso de extrusión con las variables de entrada “variable x”, y las variables donde se genera los tipos de defecto “variable y”, la cual ha sido definida previamente como un Crítico para la Calidad (CTQ). Ambas variables son de tipo continuo ya que no depende solo de un criterio de aceptación como lo serían las variables de tipo discreto.

Figura 14

Variables de entrada y de salida del proceso de extrusión de barras de cereal con relleno



Nota. Elaboración propia

4.2.2 Análisis del Sistema de Medición (MSA)

De acuerdo con los lineamientos planteados por Down et al. (2010) en el Manual del Sistema de medición (MSA), se realizó un análisis y validación del sistema de

medición con el objetivo de garantizar que las variables “y” sean medias de forma consistente. Por ello, se tomó muestras de 10 unidades de barra extruida con rellenos propios de la variación típica del proceso, la medición fue llevada a cabo por 3 operarios que realizaron la medición por duplicado del peso de cada muestra entregada de manera aleatoria, a fin de que no sean alterados los resultados por el conocimiento previo del operador, esta data se encuentra ordenada en la Tabla 13 en donde se observa un total de 60 mediciones, a los cuales se realizó un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad R&R usando el Programa estadístico Minitab versión 21.

Tabla 13

Datos MSA “y1”

Operador	N° Partes	Peso (g)
Operador 1	1	9.0
Operador 1	2	9.0
Operador 1	3	9.2
Operador 1	4	9.2
Operador 1	5	9.1
Operador 1	6	8.9
Operador 1	7	9.2
Operador 1	8	9.1
Operador 1	9	9.0
Operador 1	10	8.9
Operador 1	1	9.0
Operador 1	2	9.0
Operador 1	3	9.2
Operador 1	4	9.2
Operador 1	5	9.1
Operador 1	6	8.9
Operador 1	7	9.2
Operador 1	8	9.1
Operador 1	9	9.0
Operador 1	10	8.9
Operador 2	1	9.0
Operador 2	2	9.0
Operador 2	3	9.2
Operador 2	4	9.2
Operador 2	5	9.1
Operador 2	6	8.9
Operador 2	7	9.2
Operador 2	8	9.1
Operador 2	9	9.0
Operador 2	10	8.9
Operador 2	1	9.0
Operador 2	2	9.0
Operador 2	3	9.2
Operador 2	4	9.2
Operador 2	5	9.1
Operador 2	6	8.9
Operador 2	7	9.2
Operador 2	8	9.1

Operador 2	9	9.0
Operador 2	10	8.9
Operador 3	1	9.0
Operador 3	2	9.0
Operador 3	3	9.2
Operador 3	4	9.2
Operador 3	5	9.1
Operador 3	6	8.9
Operador 3	7	9.2
Operador 3	8	9.1
Operador 3	9	9.0
Operador 3	10	8.9
Operador 3	1	9.0
Operador 3	2	9.0
Operador 3	3	9.2
Operador 3	4	9.2
Operador 3	5	9.1
Operador 3	6	8.9
Operador 3	7	9.2
Operador 3	8	9.1
Operador 3	9	9.1
Operador 3	10	8.9

Nota. Datos recolectados de la medición por parte de 3 operarios.

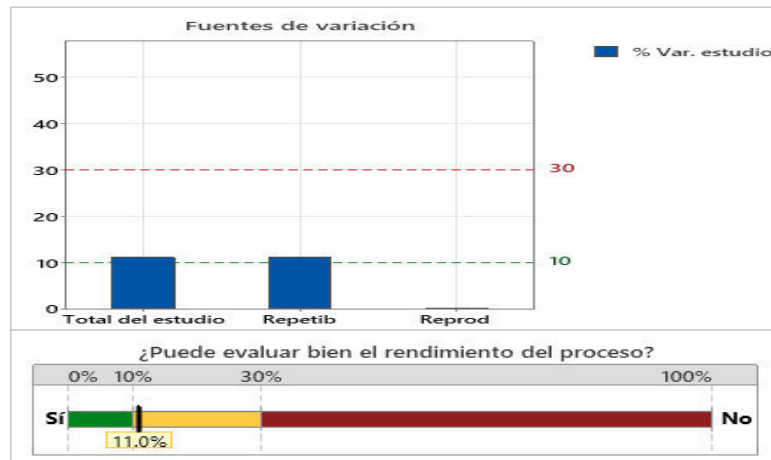
El resultado del estudio R&R realizado en Minitab se visualiza en la Figura 15, se observó una fuente de variación total menor al 11% , en donde se ha considerado la variación asociada al componente de Repetitividad que se produce cuando la misma persona mide la misma muestra de manera repetida, que representa el 100% de la variación total y la variación asociada al componente de Reproducibilidad la cual se produce cuando diferentes personas miden el mismo elemento y representa el 0% de la variación del proceso, En base a los criterios de aceptación, mencionados por Gutiérrez y De la Vara (2009) los cuales son:

- Debajo de 10% → Excelente proceso de medición
- De 10 a 20% → Bueno, aceptable
- De 20 a 30% → Marginalmente aceptable
- Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido

Se concluye que los sistemas de medición son adecuados y se acepta la variación; por lo tanto, es posible continuar con la siguiente actividad del Proyecto.

Figura 15

Análisis de medición para Variable y (Peso), estudio R&R



Nota. Resultados obtenidos luego de aplicar el programa Minitab 21

4.2.3 Determinación del tamaño de muestra y recolección de datos

Antes de la recolección de datos, se determinó el tamaño de muestra para asegurar que los datos recolectados medición de las variables “x” y “y” sean consistentes en todo el proceso. Para obtener el tamaño ideal de la muestra, se aplicó la fórmula 4.2 planteada por Murray y Larry (2005) para una población finita:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (4.2)$$

Donde:

Z: Nivel de confianza

N: Población

p: Probabilidad a favor

q: Probabilidad en contra

e: error de estimación

n: Tamaño de la muestra

Por lo tanto, para una población de 211 000 unidades de barras producidas por turno con un nivel de confianza de 95% para lo cual corresponde a un Z=1.96, probabilidad p y q 0.5 se determinó 400 muestras representativas (Ecuación 4.3).

$$n = \frac{1.96^2 * 211000 * 0.5 * 0.5}{0.05^2(211000 - 1) * 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 400 \quad (4.3)$$

Los datos recolectados, se visualizan en la Tabla 14, siendo cada una de las 40 muestras un promedio de 10 unidades del producto extruido que resulta un total de 400 muestras representativas.

Tabla 14

Tabla de datos medidos variable y_1 "pesos", y_2 "largo"

Muestra Promedio 10 unidades	Boquilla 1	Boquilla 2	Boquilla 3	Boquilla 4	Boquilla 5	Boquilla 6	Total y_1 peso promedio	Total y_2 largo promedio
1	8.9	8.9	8.8	8.8	9.0	8.3	8.78	87.41
2	9.0	9.1	8.4	9.0	9.4	8.4	8.88	86.33
3	8.8	9.0	8.8	9.0	8.8	8.9	8.88	86.14
4	8.9	9.0	8.8	8.8	8.6	8.5	8.77	87.46
5	9.0	9.0	8.9	8.2	9.4	8.6	8.85	85.32
6	8.4	9.1	9.3	8.1	9.5	8.9	8.88	91.06
7	7.5	9.2	9.2	8.5	10.2	8.8	8.90	88.95
8	8.8	8.5	9.6	8.4	10.1	9.2	9.10	87.37
9	8.3	8.6	9.3	8.3	10.0	9.8	9.05	90.50
10	9.5	8.1	9.3	8.8	9.4	8.4	8.92	89.23
11	8.5	7.8	10.1	8.3	9.3	8.2	8.70	90.12
12	8.9	8.2	9.2	8.4	9.6	9.3	8.93	87.73
13	8.0	9.1	9.1	8.5	10.0	8.7	8.90	90.13
14	9.1	8.8	9.1	8.8	8.8	9.0	8.93	89.22
15	8.8	9.1	8.5	9.4	9.5	9.0	9.05	91.07
16	8.9	11.0	9.2	8.7	9.8	9.1	9.45	89.18
17	9.7	8.9	9.1	9.3	8.7	9.2	9.15	89.25
18	9.9	10.2	9.3	9.1	9.8	8.6	9.48	92.43
19	9.5	9.2	9.4	9.5	9.7	9.0	9.38	91.23
20	8.8	8.9	9.8	8.3	9.9	8.3	9.00	92.42
21	9.3	9.2	8.5	9.5	8.9	8.8	9.03	89.40
22	8.9	9.3	9.1	9.2	8.9	8.8	9.03	87.25
23	8.7	9.9	9.7	9.3	9.5	8.6	9.28	89.43
24	9.0	8.9	8.9	9.7	10.6	8.4	9.25	91.57
25	8.2	9.8	9.3	8.9	9.0	8.7	8.98	89.57
26	9.8	9.7	9.0	8.1	8.6	9.1	9.05	89.30
27	8.6	8.7	9.5	9.8	9.8	8.6	9.17	89.57
28	9.2	9.5	9.6	9.0	10.3	8.4	9.33	92.80
29	9.2	9.2	9.6	9.3	9.5	8.4	9.20	88.47
30	8.8	8.7	8.8	9.3	10.4	8.3	9.05	91.55
31	9.4	9.7	8.8	9.6	9.1	8.3	9.15	91.29
32	9.8	8.7	9.6	9.0	8.6	8.3	9.00	88.90
33	9.1	9.0	9.2	9.3	9.2	9.6	9.23	90.58

34	9.2	8.8	9.0	9.3	9.4	9.3	9.17	90.55
35	9.0	8.6	9.1	9.6	9.1	9.2	9.10	90.82
36	9.2	9.0	9.6	9.0	9.6	9.3	9.28	89.35
37	9.3	9.1	9.3	8.5	9.6	9.3	9.18	91.10
38	9.8	9.3	9.7	8.8	9.0	9.1	9.28	91.27
39	9.6	9.2	9.4	8.4	9.3	8.8	9.12	92.63
40	8.4	9.5	9.4	9.0	9.4	9.0	9.12	91.64

Nota. Fuente: Datos proporcionados por la empresa

4.2.4 Prueba de normalidad y estudio de capacidad

Después de la verificación de la calidad del sistema de medición, la determinación de la muestra representativa y medición, se realizó la verificación de que los datos no rechazan su procedencia de una distribución normal.

Prueba de normalidad

Se requiere determinar dicha prueba con el propósito de determinar la normalidad como requisito para apreciar si la data bajo análisis configura una distribución normal, que es la campana de Gauss, la cual se caracteriza por ser simétrica alrededor de la media. Vale indicar, si la distribución fuera no normal, requeriría una transformación de los datos para contar con información que se ajuste a una campana de Gauss y poder continuar con las demás pruebas estadísticas que precisan que la distribución sea normal.

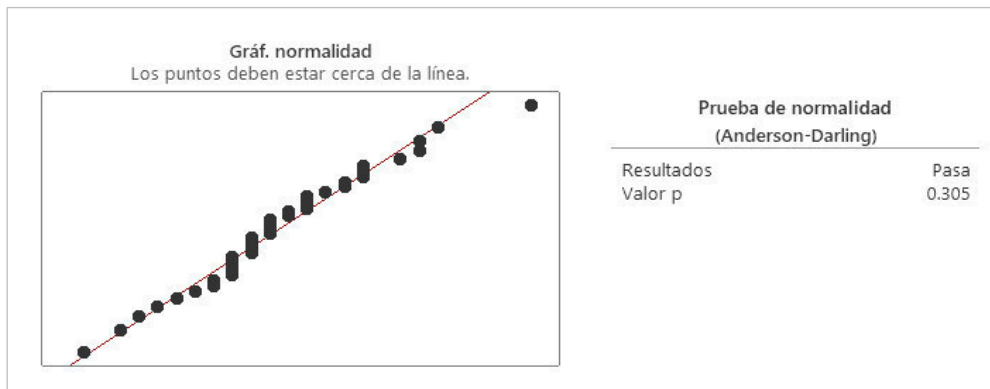
La prueba de normalidad y los resultados de la prueba estadística de Anderson - Darling, donde se valida con la siguiente hipótesis:

- H_0 : Los datos siguen una distribución normal ($p > 0.05$)
- H_1 : Los datos no siguen una distribución normal ($p < 0.05$)

Se utilizó el valor p para probar dicha hipótesis. Si el valor p es menor que un nivel de significancia elegido $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal. En los resultados plasmados en la figura 16 y 17 para la variable y_1 (pesos) así como para y_2 (largo) respectivamente, el valor de $p > 0.05$, concluyendo que los datos siguen una distribución normal.

Figura 16

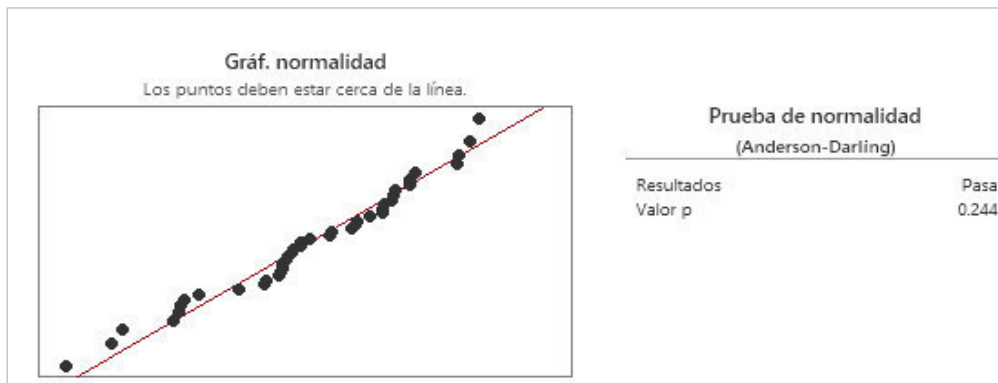
Prueba de Normalidad de distribución para datos y_1



Nota. Resultado aplicando la prueba de normalidad Minitab 21

Figura 17

Prueba de Normalidad de distribución para datos para y_2



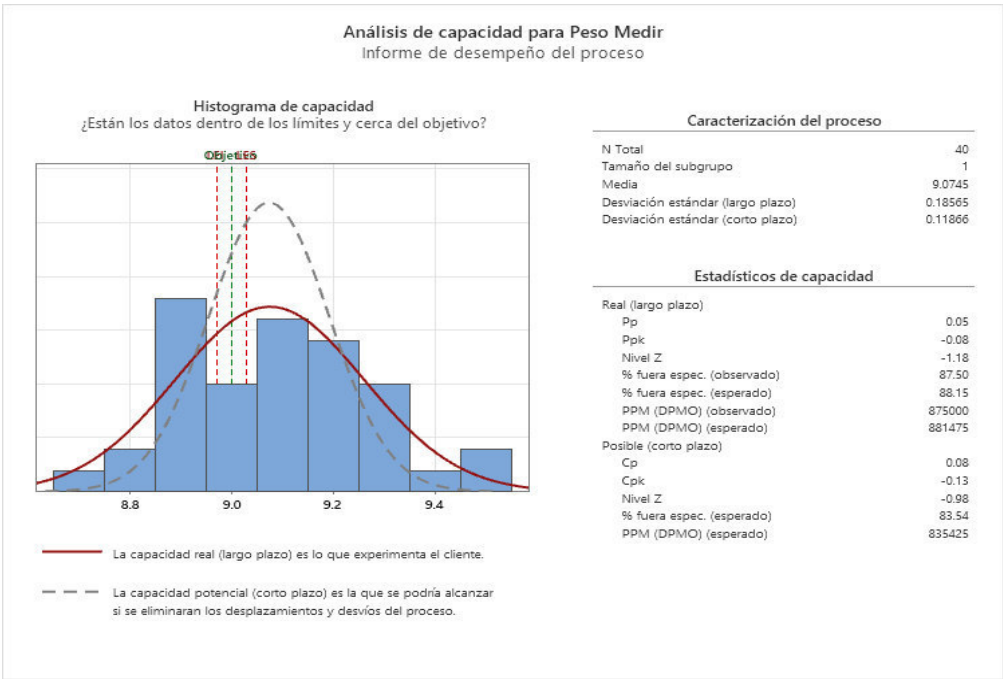
Nota. Resultado aplicando la prueba de normalidad Minitab 21

Estudio de capacidad del proceso

Este análisis se realizó a fin de determinar el nivel sigma del proceso y la relación con los productos defectuosos o fuera de especificación del cliente. La matriz de la extrusora cuenta con 6 boquillas de salida; primero, se realizó los análisis de capacidad para el promedio total de las 6 boquillas tanto para la variable de respuesta y_1 (Figura 18) así como para y_2 (Figura 19); luego, con el objetivo de medir variaciones de pesos entre una y otra boquilla se realizó el estudio de capacidad para cada una de ellas (Figura 20-25).

Figura 18

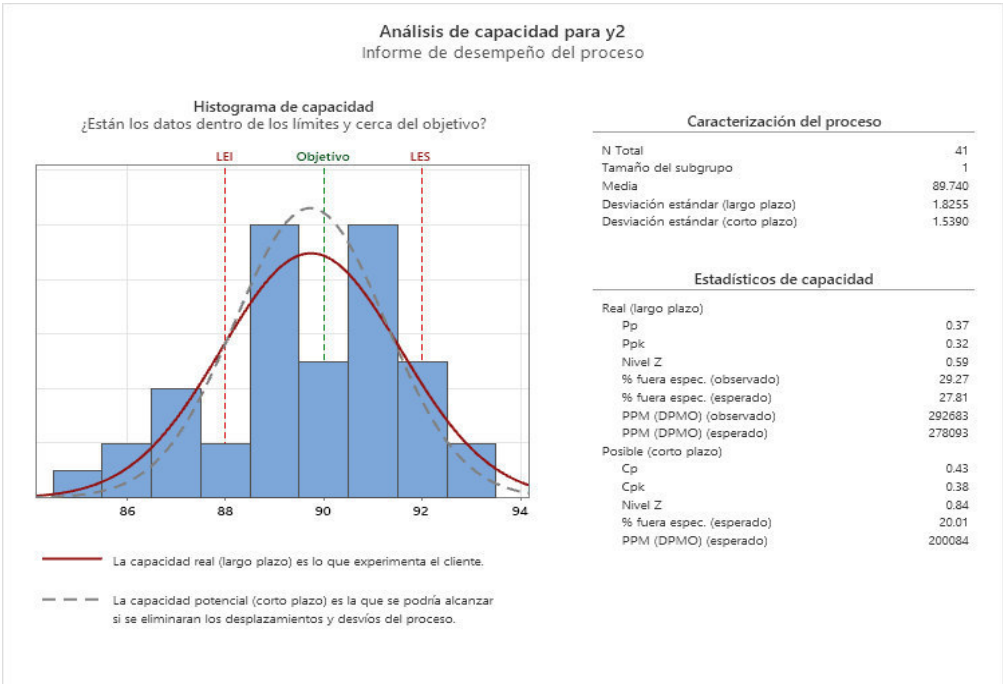
Análisis de capacidad para variable y “Pesos Promedio de las 6 boquillas”



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 19

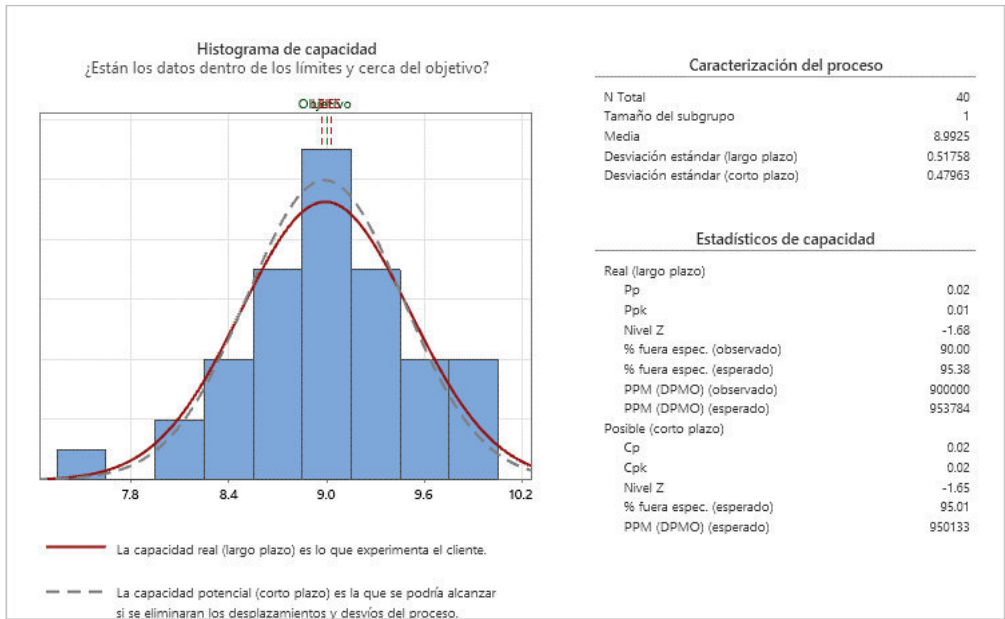
Tabla de datos medidos variable “y₂” largo de barra extruida



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 20

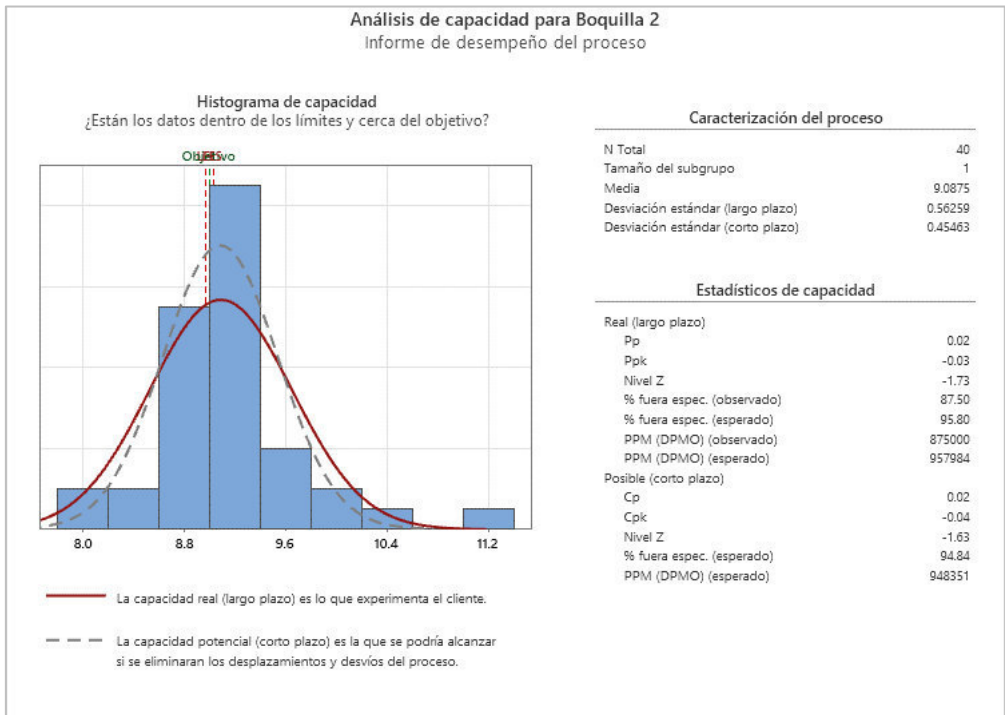
Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 1.



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 21

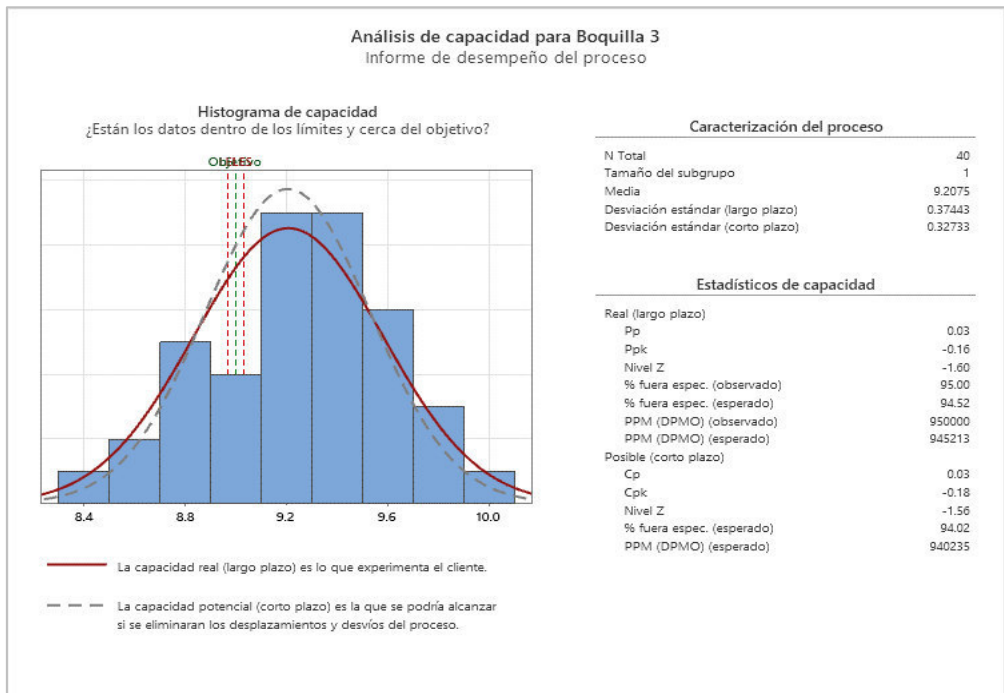
Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 2



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 22

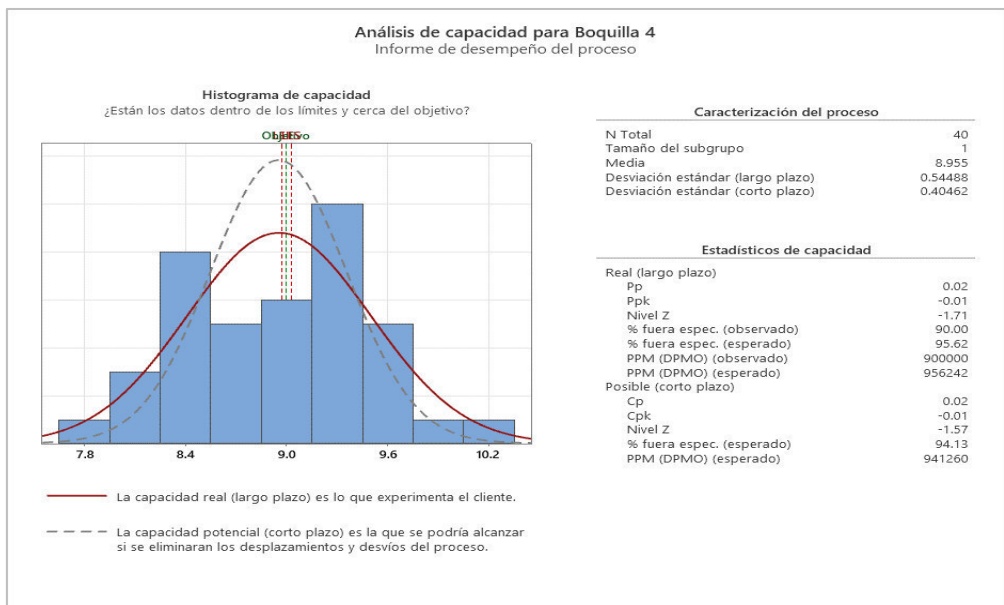
Análisis de capacidad para variable y “Pesos” en Boquilla 3



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 23

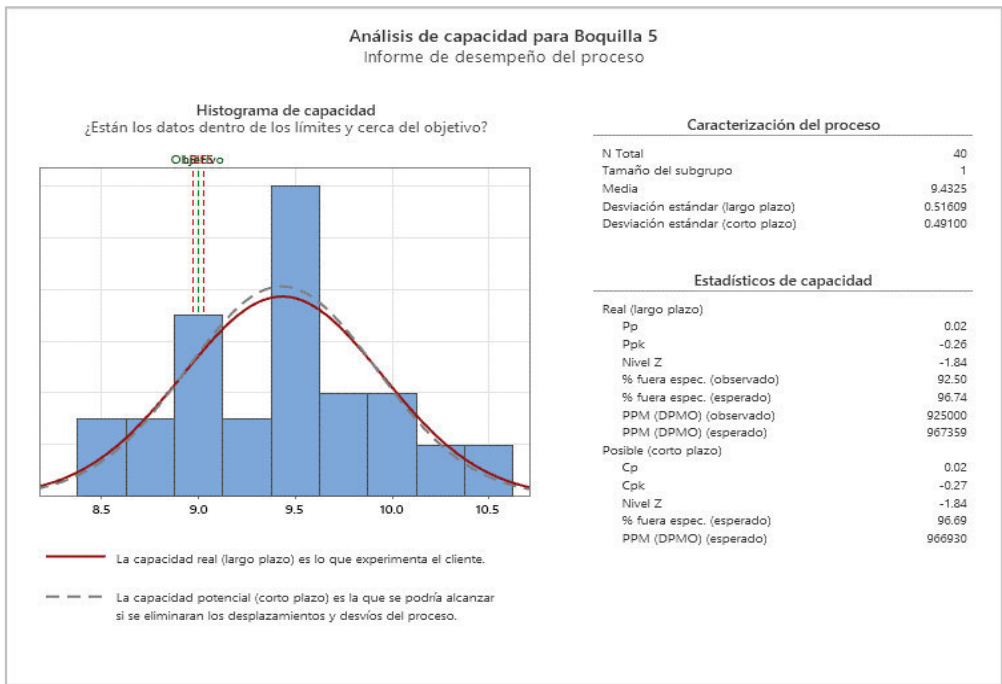
Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 4



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 24

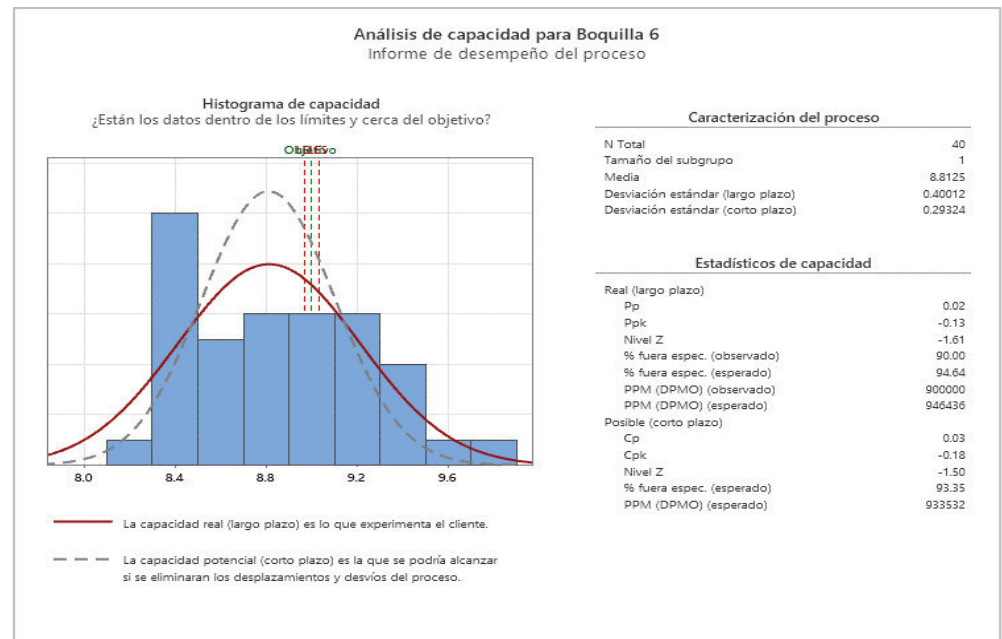
Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 5



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

Figura 25

Análisis de capacidad de Pesos en Boquilla 6



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

El resumen de los valores obtenidos se presenta en la Tabla 15 para cada boquilla de salida del extrusor. Los índices de capacidad son <1 , en referencia a lo descrito en la Tabla 15 se interpreta que el proceso no es capaz y no está dentro de un nivel 6 sigmas para el cumplimiento de especificaciones,

Tabla 15

Resumen de los resultados obtenidos para cada boquilla de salida del extrusor

	Boquilla 1	Boquilla 2	Boquilla 3	Boquilla 4	Boquilla 5	Boquilla 6
Promedio Real	9.05	9.09	9.22	8.96	9.40	8.80
Objetivo	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Nivel Sigma Z						
Real	-1.68	-1.73	-1.60	-1.71	-1.84	-1.61
Potencial	-1.65	-1.63	-1.56	-1.57	-1.84	-1.50
Deseado	6	6	6	6	6	6
Capacidad de procesos						
Pp	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Ppk	-0.01	-0.03	-0.16	-0.01	-0.26	-0.13
Cp	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03
Cpk	-0.02	-0.04	-0.18	-0.01	-0.27	-0.18

Adicionalmente, se revisó in situ, el estado de las boquillas de dosificación de relleno (figura 26), se observa un evidente deterioro de estos componentes de la máquina:

Figura 26

Boquillas de dosificador de relleno de la máquina extrusora bajo análisis



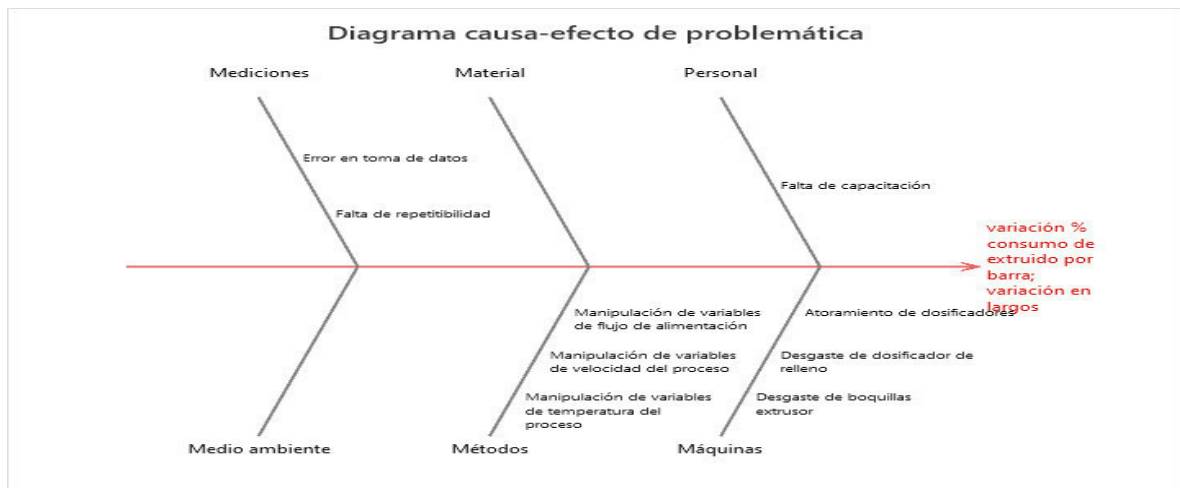
Nota. Fuente de la empresa fabril

4.3 Fase “analizar”

En esta fase el equipo del proyecto identificó las variables “x” que influyen en los problemas de “y” que es el peso del extruido, partiendo de los estudios presentados en la fase anterior, se identificó las causas potenciales que finalmente se plasmaron en el Diagrama de causa – efecto o como “Diagrama de Ishikawa” (Ver Figura 27).

Figura 27

Diagrama causa – efecto



En base al análisis del diagrama de causa efecto, se empezó con el análisis de la causa método, puesto que se manifestó, que ante alguna desviación en los parámetros de salida como es el caso del peso, el personal operativo manipulaba las variables de proceso de acuerdo con sus habilidades y experiencia para lograr los parámetros adecuados. Luego, se revisó si la condición básica de los dosificadores tiene alguna relación con la variabilidad del proceso. A continuación, se menciona las variables que son parte del proceso:

- x_1 : Temperatura en la matriz (°C)
- x_2 : Flujo de alimentación de agua
- x_3 : % mezcla de aditivos
- x_4 : Temperatura Zona 1 del cilindro
- x_5 : Temperatura Zona 2 del cilindro
- x_6 : Temperatura Zona 3 del cilindro
- x_7 : Temperatura Zona 4 del cilindro
- x_8 : Flujo de mezcla de harina y aditivos en base seca
- x_9 : Torque (%)
- x_{10} : Velocidad de tornillo segmentado interno del cilindro (RPM)

- x_{11} : Frecuencia de velocidad de bomba de relleno (Hz)

En la tabla 16, se muestra los datos medidos para las variables “x”, estos datos fueron sometidos a un análisis de regresión lineal múltiple, con el objetivo de describir el comportamiento de la variable “y” de pesos en función de las variables independientes “x”

Tabla 16

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	y_1
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.80
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.90
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.20
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.79
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.89
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.21
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.81
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.78
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.19
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.80
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.79
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.20
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.80
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.90
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.19
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.81
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.90
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.20
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	33.00	319.00	11.38	9.20
34.00	11.50	1.20	53.00	51.00	36.00	69.00	265.00	34.00	319.00	11.53	9.20
37.00	10.50	0.80	56.00	51.00	37.00	72.00	250.00	30.00	344.00	13.07	8.79
36.00	10.50	0.60	56.00	49.00	37.00	72.00	250.00	29.00	364.00	10.33	8.90
36.00	9.00	0.50	51.00	48.00	38.00	71.00	250.00	34.00	303.00	12.23	9.21
36.00	9.00	0.50	51.00	49.00	37.00	69.00	250.00	33.00	304.00	26.60	9.10

Datos de variables “x”

Nota. Fuente: Datos tomados in situ (Línea Extruido)

La regresión lineal múltiple de los datos “x” y “y” se realizó usando el programa Excel, se obtuvo un coeficiente R^2 ajustado de 80% y a continuación se realiza la prueba de hipótesis según el análisis de varianza (Tabla 18):

Prueba de hipótesis:

Dada la siguiente ecuación

$$y = cte + \beta_1 x_1 \dots + \beta_n x_n \quad (4.4)$$

Donde:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 \dots \beta_{11} = 0$ (no influye sobre y)

$H_1: \beta_1 = \beta_2 \dots \beta_{11} \neq 0$ (influye sobre y)

Por lo tanto, según los resultados para los coeficientes de la tabla 18 aceptamos la hipótesis nula para las variables $x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_7$ y concluimos que no influyen sobre “y”

Resultando la ecuación final:

$$y = 9.2366 - 0.07389x_5 + 0.01929102 x_8 + 0.0002250 x_9 - 0.004297x_{10} - 0.00150277x_{11} \quad (4.5)$$

A continuación, se realiza la prueba de hipótesis para la significancia de las variables de acuerdo con los intervalos de confianza, siendo el nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia de 5%

$H_0: \beta_{11} = 0$ (probabilidad > 0.05)

$H_1: \beta_{11} \neq 0$ (probabilidad < 0.05)

podemos observar que dado que la probabilidad para la variable x_{11} es igual a 0.1932 > 0.05 podemos aceptar la hipótesis nula para la variable x_9 y x_{11} concluyendo que dicha variable no tiene significancia sobre “y” (Tabla 17), el coeficiente para x_9 y x_{11} velocidad de bomba de relleno se elimina debido a su nivel de significancia por debajo de α (0.05)

Además, se analizó el Pareto de efectos estandarizados en la Figura 28, en el cual podemos observar la mayor significancia entre las variables que pasaron las pruebas de hipótesis.

Tabla 17

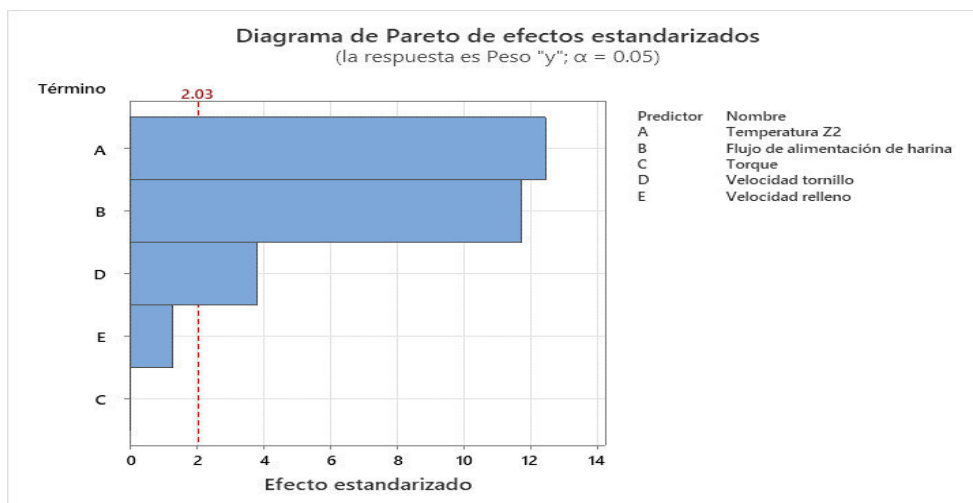
Análisis de varianza

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99154659
Coeficiente de determinación R ²	0.98316465
R ² ajustado	0.80421827
Error típico	0.02374585
Observaciones	40

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	9.23660684	0.65972284	14.0007384	*
x_1	0	0	65535	*
x_2	0	0	65535	*
x_3	0	0	65535	*
x_4	0	0	65535	*
x_5	-0.07388759	0.00595107	-12.4158497	*
x_6	0	0	65535	*
x_7	0	0	65535	*
x_8	0.01929102	0.00164807	11.7052496	*
x_9	0.00022542	0.01361244	0.01655956	0.98688478
x_{10}	-0.00429715	0.00111417	-3.85681048	0.00048717
x_{11}	-0.00150277	0.00113199	-1.32754641	0.19317315

Figura 28

Pareto de influencia de variables x sobre y



Nota. Resultado aplicando Minitab 21

A continuación, se realiza una nueva regresión (Tabla 18), con las variables más importantes: x_5 : Temperatura Z2 (°C), x_2 : Flujo de alimentación de harina, x_{10} : Velocidad de tornillo segmentado interno del cilindro (RPM). Podemos observar que el R^2 se incrementó hasta 98% en comparación del primer análisis, lo que indica la precisión del modelo lineal siguiente:

$$y = 0.038 - 0.07677x_5 + 0.020240 x_8 - 0.004032x_{10} \quad (4.6)$$

Tabla 18

Regresión lineal múltiple de las variables significativas

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coficiente de correlación múltiple	0.99088691
Coficiente de determinación R^2	0.98185687
R^2 ajustado	0.98034494
Error típico	0.02395637
Observaciones	40

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	1.11809933	0.37269978	649.407251	2.198E-31
Residuos	36	0.02066067	0.00057391		
Total	39	1.13876			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	9.03758192	0.17079157	52.9158556	9.725E-36
x_5	-0.07676631	0.00477239	-16.0855008	5.1397E-18
x_8	0.02024016	0.0008372	24.1758865	7.5419E-24
x_{10}	-0.0040318	0.00019832	-20.3301869	2.5434E-21

Una vez realizado la modelación matemática del proceso, se realiza un análisis de correlación (Tabla 19) entre las variables “x” para simular datos que serán implementados en la siguiente fase de la metodología para lograr los objetivos establecidos.

El análisis de coeficientes de correlación (Tabla 19), indica que la relación más fuerte se da entre la temperatura x_5 y flujo de harina x_8

Tabla 19*Análisis de correlación de coeficientes*

	<i>x</i>8	<i>x</i>10	<i>x</i>5
<i>x</i>8	1		
<i>x</i>10	-0.19954745	1	
<i>x</i>5	0.66045574	0.23027439	1

Nota. Resultado aplicando Minitab 21

4.4 Implementar

En esta fase, se realizan los planes de acción en relación con los objetivos planteados, entre los cuales se encuentra la disminución de la variabilidad del proceso. Por ello, se definirá un nuevo rango de parámetros para las variables determinadas de la Ecuación de regresión. Cabe mencionar que se toma de referencia la tabla de parámetros preestablecida por la empresa.

Partiendo de la ecuación de regresión:

$$y = 9.037581 - 0.07677x_5 + 0.020240 x_8 - 0.004032x_{10} \quad (4.7)$$

Cálculo de límite inferior para variable x_5 (Temperatura Z2)

Para obtener un peso “y” = 9 g, establecemos como límite inferior un flujo de alimentación $x_8 = 250$ kg/h; $x_{10} = 350$, el límite inferior resulta para $x_5 = 48^\circ\text{C}$

Cálculo de límite superior para variable x_5 (Temperatura Z2)

Para obtener un $y = 0.009$ kg, establecemos como límite inferior un $x_8 = 265$ kg/h; $x_{10} = 370$, el límite inferior resulta para $x_5 = 51^\circ\text{C}$

Según los cálculos realizados, si trabajamos con el rango de parámetros extremos de x_8 y x_{10} se obtiene un rango de Temperatura en la Z2 de (48-51) °C. Por lo tanto, dada la correlación de componentes resultante líneas arriba (Tabla 19), se simulará en la ecuación el rango de parámetros de velocidad adecuada para mantener las variables más significativas del proceso estables.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación, se obtiene el rango de velocidad para un solo flujo máximo de alimentación de harina (Tabla 20):

Tabla 20

Simulación de parámetros en la ecuación

Parámetro	Unidad medida	valor 1	valor 2	Valor 3	Valor 4
Temperatura	°C	48	49	50	51
Flujo de harina	Kg/hora	265	265	265	265
Velocidad	RPM	426	406.6	387.6	368.5

Finalmente se realizó un nuevo balance de masa, se realizó una corrida con los parámetros simulados. Los resultados se visualizan en la figura 29

Figura 29

Balance de masa en extrusor después de la implementación

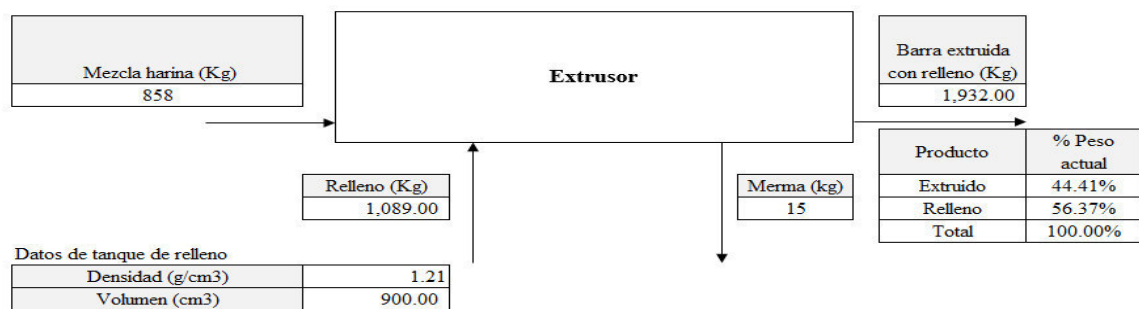
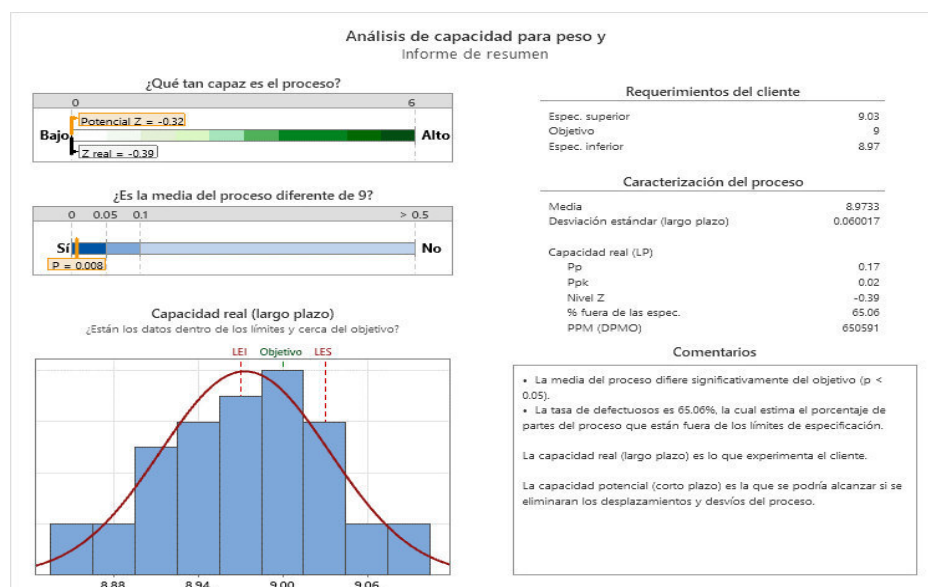


Figura 30

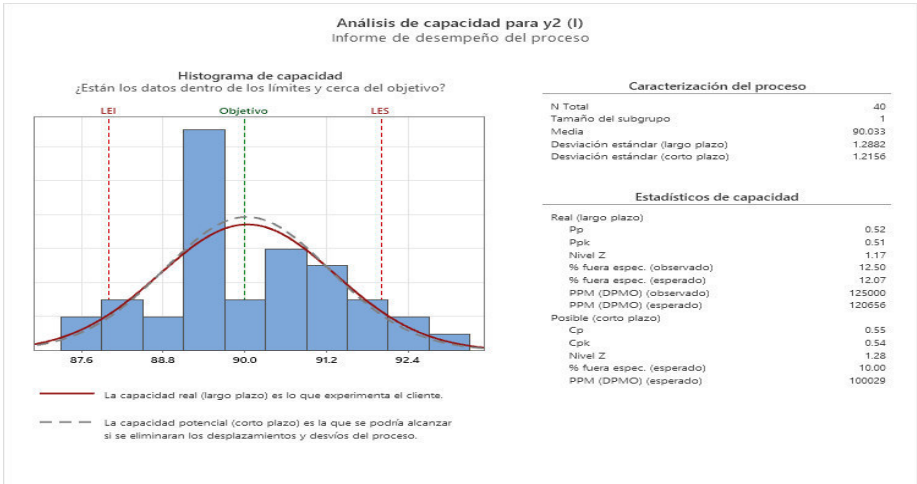
Análisis de Capacidad del proceso para y_1 después de la implementación



Nota. Datos obtenidos de Minitab 21

Figura 31

Análisis de Capacidad del proceso para y2 después de la implementación



Nota. Datos obtenidos de Minitab 21

Tabla 21

Estado de la desviación de consumo de relleno y costos

% Recuperado	S/ Tn	S/Tn recuperado
-1.74	4300	7482 soles/Tn

Nota. Valores de costo referenciales aproximados, en base a la información por la empresa

Tabla 22

Estado de los ajustes e impacto en la eficiencia

Ajustes junio	Ajustes noviembre	Valor de un punto en el OEE	S/recuperados
5.1%	3.68%	2664.8	3784 soles

Nota. Valores de costo referenciales aproximados, en base a la información por la empresa

4.5 Fase “controlar”

Una vez que las mejoras fueron implementadas, esta fase final representó un gran reto puesto que el objetivo es que las mejoras se tornen permanentes, lo cual implicó la

participación y adaptación de todo el personal involucrado. En consecuencia, se implementó un sistema de Control para:

- Prevenir la ocurrencia de los eventos que o problemas perjudiquen lo logrado.
- Mantener el adecuado desempeño del proceso
- Hacer partícipe a todos los involucrados, sobre la mejora continua

4.5.1 Implementación de AMEF

Como Plan de Acción preventivo se ha implementado la metodología de *Análisis de Modo de falla y Efecto (AMEF)*, el cual es un aporte en el presente trabajo para que en el futuro la empresa pueda hacer uso de esta propuesta e identifique las fallas potenciales y efecto que provocan (figura 32).

Figura 32

Análisis de Modos de Falla y Efectos

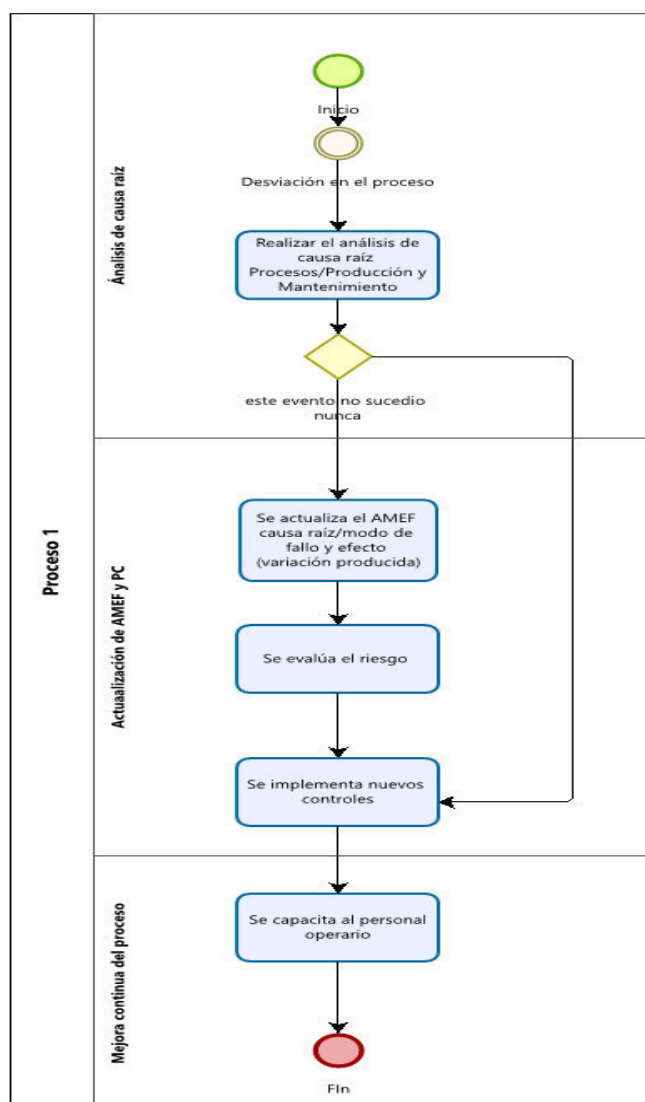
FMEA DE PROCESO											
ÍTEM EXTRUSIÓN DE BARRAS		RESPONSABLE DEL PROCESO Ingeniero de Procesos Area 1 Barras			IDENTIFICACION DE PRODUCTO BARRA EXTRUIDA CON RELLENO PREPARADO POR Procesos FECHA DE AMEF (original) 23/10/2023			PÁGINA 1 DE 14 FECHA DE REVISIÓN 5/11/2023		Rev.1	
EQUIPO CENTRAL Ingeniero de Procesos, Supervisor de mantenimiento, Inspector de Procesos		Identificación de Característica Especial ☐									
ETAPA DEL PROCESO/ FUNCION	REQUISITO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO (S) POTENCIAL (ES) DE FALLA	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	CAUSA (S) POTENCIAL(ES) DE FALLA	PROCESO ACTUAL				R
							CONTROLES DE PREVENCIÓN	OCURENCIA	CONTROLES DE DETECCIÓN	DETECCIÓN	
EXTRUSIÓN	Temperatura extrusión de acuerdo a lo establecido	Temperaturas de extrusión y TCU fuera de especificación	Variación de pesos Desgaste de orificios	6		Falla operacional al omitir procedimiento	- Mantenimiento preventivo a equipo -Registro de control de temperatura	3	Control de pesos por el operador	8	144
						Descalibración de sensores	Mantenimiento preventivo de equipo	3	Check list de máquinas	5	90
DOSIFICADOR DE RELLENO	Matriz identificada y en buen estado	Orificio de matriz con desgaste	Variación pesos y expansión del extruido	6		Falla mecánica del equipo	Verificación de mantenimiento preventivo	4	Check list de máquinas, Planilla LILA inspección y verificación de máquinas	5	120
		dosificadores con desgaste	Variación de pesos	6		Falla mecánica del equipo	Verificación de mantenimiento preventivo	4	Verificación visual	7	168
PESADO	Capabilidad de ancho y largo de la barra	cp <1,33 ppk <1,00	pérdida de eficiencia en envasadoras, sobreconsumo de relleno	8	☐	Falla de máquina	Mantenimiento preventivo de equipo	5	Inspección visual en zona de enlbrado. Registro de temperaturas en Set - up del operador	7	280
	Balanza calibrada	Uso de balanza descalibrada	Variación en peso	6	☐	Balanza descalibrada	Sistema de calibración de equipos.	3	Registro de temperaturas en Centerline del operador	5	90

4.5.2 AMEF como plan de control (PC)

Se desarrolló el *Plan de Control del Proceso Extrusión* cuyo objetivo es brindar además un mayor entendimiento al personal operativo y administrativo sobre los procedimientos estándares del proceso en caso ocurra una desviación en los parámetros de operación que puedan dañar la calidad del producto. Adicionalmente, se estableció un flujograma (Figura 33) como parte de la estandarización para que se pueda realizar paso a paso la correcta actualización de estos dos documentos.

Figura 33

Flujograma de actualización AMEF



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tal como, se ha señalado en el capítulo IV anterior, complementando la metodología y procedimientos, también se han presentado determinados resultados de la investigación, de los cuales los más importantes y vinculados a los objetivos se señalan líneas abajo.

- a) Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, con el objetivo de determinar las variables más influyentes en el proceso de extrusión, ello debido a que se contaba con múltiples variables que se visualizaban en el panel del equipo, los cuales eran manipulados por cada operador de acuerdo con su nivel de experiencia para obtener un producto con las especificaciones solicitadas. Del análisis, resultó que las variables de

temperatura, flujo de alimentación y velocidad del tornillo eran las más significativas en el proceso, lo que condice con lo mencionado por Ramirez (2003).

b) La ecuación de regresión resultante (4.6)

$y = 9.037581 - 0.07677x_5 + 0.020240 x_8 - 0.004032x_{10}$, integrado con el análisis en relación con el análisis de correlación entre variables “x” más influyentes, el cual resultó un mayor coeficiente de correlación positivo de 0.66 entre las variables temperatura y flujo de harina, permitieron simular datos con el objetivo de reducir el rango de parámetros aceptables de las variables de control de proceso que se encontraban preestablecidas en la línea extrusor para el control del proceso por parte del operario, de esta manera al tener menor rango de los parámetros se reduce la variabilidad en el proceso:

- i) La temperatura de un nivel anterior (57-63) °C se redujo hasta (49-51) °C
 - ii) La velocidad desde un rango inicial de (350-370) RPM hasta (387.6 - 406.6) RPM para un flujo constante de alimentación de harina de 265 kg/h.
- c) El balance de masa de la Figura 14 “Balance de masa estado actual”, indica cierta proporción de relleno y extruido utilizado en la producción, luego de la corrida en implementación, dicho valor disminuyó en 1.74%, generando un ahorro aproximado de 4720 soles/Tn.
- d) Del resultado de las capacidades de proceso para variables de respuesta “y” promedio:
- i) La fase de medición en el estado inicial para la variable de respuesta y_1 “pesos” resultó 88.15% como tasa de productos defectuosos, es decir fuera de los límites de aceptación para peso; después de la implementación de parámetros y nueva corrida, la tasa de productos defectuosos disminuyó a 65.06%, lo cual significa la reducción del 26.2% de productos fuera de las especificaciones.
 - ii) De igual manera, en el análisis para el largo de las barras, inicialmente resultó 27.8 % de productos defectuosos; después de la corrida en la etapa de implementación, se obtuvo 12.07%, lo cual indica en general una disminución de 40.5% de productos que se encuentran fuera del rango de parámetros aceptables.
 - iii) Asimismo, el resultado con las mejoras de la tasa de producto defectuoso también se vio reflejado en % pérdida de eficiencia por ajustes en las envasadoras que están relacionados al tamaño (largo) de las barras, tal como se enunció en la problemática del CAPÍTULO II, se logró disminuir 1.42% de esta pérdida, de modo que si se

valoriza un punto en el OEE o eficiencia en S/ 2664.8 (valor referencial aproximado), resulta 3784 soles de pérdidas recuperadas.

- e) A pesar de las mejoras implementadas el índice de capacidad Cp aún es <1 lo cual indica según lo establecido en las bases teóricas Tabla 3, que se presentan otras variaciones que deben ser solucionadas progresivamente, tal como los cambios de dosificadores que se identificaron en mal estado, lo cual tiene relación y se corrobora con los análisis de capacidad realizados por boquilla en las Figuras 21 al 26 en donde se observa que los resultados por cada boquilla difieren en gran magnitud, cuando debería ser lo contrario. El proceso de mejora todavía no es el más adecuado, por cuanto se presentan otras variaciones que deben ser solucionadas progresivamente.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

1. Como resultado del análisis y de la aplicación de la metodología LSS, se determinó las variables más significativas en la calidad del proceso de extrusión; las cuales son: temperatura, flujo de alimentación y velocidad del husillo o tornillo.
2. Luego de los resultados señalados en el párrafo anterior, se aplicó el análisis de coeficientes de correlación, resultando una correlación positiva de 0.66 entre la variable de Temperatura y la variable de flujo de harina lo que ha permitido definir en términos científicos la influencia entre de ambas variables.

3. Obtenido lo anterior e integrado en un modelo matemático (ecuación de regresión lineal múltiple), se logró reducir el rango de operación de las referidas variables significativas, con el propósito de disminuir la variabilidad en el control de proceso. En un rango mejorado de (57-63) °C hasta (49-51) °C, y para la velocidad de tornillo desde (350-370) RPM hasta un nivel también mejorado de (387.6 - 406.6) RPM para un flujo constante de alimentación de harina de 265 kg/h.
4. El resultado del análisis del balance de masa, si bien no se alcanzó el objetivo establecido 3.1%, es importante considerar una reducción de sobreconsumo de relleno que disminuyó en 1.7%, generando un ahorro aproximado de 7482 soles por Ton. Asimismo, al mejorarse la tasa de productos defectuosos para largo de barras se ha medido en una disminución del 1.4% de pérdida de eficiencia (OEE) por causa de ajustes en las envasadoras con respecto a un objetivo de 2.2%, con esta mejora se obtuvo una reducción de pérdida de 3874 soles.
5. Si bien se han obtenido mejoras con la aplicación metodología LSS, todavía no se llega al nivel six sigma deseado, por cuanto ciertas limitaciones de tiempo y recursos no permitió continuar con el proyecto de investigación de manera prolongada, por cuanto la aplicación de esta metodología de acuerdo con experiencias similares se requiere que para llegar a un nivel six sigma, contar con un tiempo mínimo de aproximadamente un año.

Contribución al Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP)

En el proceso de aplicación de la metodología LSS, la autora del presente trabajo contribuyó con las competencias que posee para el análisis y logro de resultados que están permitiendo una mejora de la productividad y por tanto el fortalecimiento del nivel de competitividad de la empresa bajo análisis.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

Debido a la limitante de tiempo, que requiere la aplicación de este tipo de metodologías, en la cual se encuentran implicadas numerosas variables y que en este trabajo de investigación se han analizado las más significativas, y con el propósito de lograr progresivamente resultados integrales, se propone las siguientes medidas como recomendación:

Medida 1: Aplicando el modelo de la ecuación de regresión lineal determinada en la presente investigación, realizar pruebas a diferentes niveles de velocidad de alimentación, por cuanto en este trabajo los resultados se han obtenido con un parámetro fijo de flujo de alimentación de mezcla de harina en 265 kg/h.

Medida 2: Para la actualización del AMEF se recomienda documentar de manera oficial el flujograma (Figura 33), en donde se propone el uso de la herramienta de calidad “Análisis de causa raíz” (ACR), con el objetivo de alimentar el documento AMEF de manera estandarizada y poder prevenir fallas en el proceso, así como facilitar el involucramiento del personal de producción.

REFERENCIAS

- Allen, D. A., Allen, D. A., Evans, J. R., & Mercado González, E. C. (2019). *Administración de operaciones*. Cengage Learning.
- ASQ Latin America (2023). *¿Quiénes somos?* <https://www.asqlatam.org/qsomos.html>
- Beltran Rico, M. y Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de polímeros Procesado y Propiedades*. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones.
- Córdoba Mesa, F. A. (2017). *Evaluación del proceso de extrusión de doble tornillo a partir del modelamiento y simulación en Dinámica de Fluidos Computacionales*

- (CFD) para la obtención de alimentos. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Archivo Digital. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63141>
- Cruelles Ruiz, J. A. (2010). *La Teoría de la Medición del Despilfarro*. (2nd ed.). Editorial Artef
- Díaz Quiliche, E. F. y Licapa Lopez, N. L. (2021). *Mejora del proceso de extrusión de una planta productora de telas no tejidas mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Archivo Digital. <http://hdl.handle.net/10757/654818>
- Down, Czubak, Gruska, Stahley y Benham (2010). *Manual de Análisis de Sistema de Medición*. EE. UU: AIAG.
- Down, Kerkstra, Cvetkovski and Benham (2005). *Manual Estadístico de Procesos*. EE. UU: AIAG.
- Evans, James R. y Linday, William L. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. México: Cengage Learning
- Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22(2), 263-277.
- Figuerroa Carrion, K. y Garay Peña, L. R. (2016). *Plan para la reducción de la variabilidad en el Proceso de producción de galletas bajo el método Seis Sigma en la empresa Productos Félix S. R. L.* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Archivo Digital. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/1302/TII%2000098%20F49.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20S.R.L>
- Gamarra Martínez, K. y Jiménez Martínez, J. (2016). *Análisis de dos metodologías para identificar el cuello de botella en procesos productivos*. [Tesis de Pregrado, Universidad industrial de Santander]. Archivo Digital. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/143199.pdf>
- Diario Gestión (2023). Galletas peruanas conquistan el extranjero con formatos naturales: destinos de interés. *Revista Industria Alimentaria*.

<https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/galletas-peruanas-conquistanel-extranjero-con-formatos-naturales-destinos-de-interes>

Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. de la. (2009). *Control estadístico de calidad y seis 123 sigma*. (2nd ed.). McGraw-Hill.

International Association for Six Sigma Certification, IASSC (2023). *Acerca de IASSC*.
<https://iassc.org/>

Folaron, J. (2003). “The Evolution of Six Sigma”. *Six Sigma Forum Magazine*. Vol. 2, Issue 4.

Kelly, M. W. (2002). Three Steps to Project Selection. *Six Sigma Forum Magazine*. Vol. 2. 29-32

Salazar López, B. (2019). Nivel Sigma y DPMO. Ingeniería Industrial.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/nivel-sigma-y-dpmo/>

Marín-Calderón, A. V., Valenzuela-Galván, M., Cuamea-Cruz, G. y Brau-Ávila, A. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24 (01), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.007>

MEF: Crecimiento se reactivará en últimos meses del 2023. [*Diario oficial del Perú El Peruano*](#)

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (2022, 14 de setiembre). *El Ministerio de Economía y Finanzas crea la “Mesa Ejecutiva para el Desarrollo del Sector de Alimentos y Bebidas Industrializadas”*.
https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=esES&Itemid=101108&view=article&catid=100&id=7512&lang=es-ES

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (2022, 14 de agosto). *Reporte de Producción Manufacturera*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oeedocumentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/1133-2023-junio-report-de-produccion-manufacturera>

- Naciones Unidas Perú. (2023, 13 de setiembre). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible*.
<https://peru.un.org/es/245789-informe-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible>.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM (Total Productive Maintenance)*. Productivity Press
- Ohno, T. (1991), *Sistema de Producción Toyota: más allá de la producción a gran escala*. Productivity Press.
- Organización Internacional del Trabajo (2023). *Indicadores clave del mercado de trabajo 2015*. <https://www.ilo.org/global/statistics-and-databases/research-and-databases/kilm/lang--es/index.htm>
- Pérez Castañeda, M., y León Salazar, L. P. (2018). *DMAIC como estrategia para control de dureza en la fabricación de galletas*. Reaxion: Ciencia y Tecnología Universitaria.
http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Impr_DMAIC_como_estrategia_para_control_de_dureza_en_la_fabricacion_de_galletas.html.
- Peter, H. (2018). Parámetros Importantes en El Proceso De Extrusión: su medición y significado para la calidad del producto. *Servicio Nacional de Aprendizaje SENA*.
 doi 10.23850/22565035.1238
- Pojasek, R. B. (2003). Lean, Six Sigma and the systems approach: management initiatives for process improvement. *Environmental. Quality Management* (pp.85–92). Wiley Periodicals,LLC.
- Rajadell Carreras, M. y Sánchez García, J. L. (2010). *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ramírez Valencia, J y Reinos Hernández Y. V., (2022). *Propuesta para la implementación de herramientas Seis Sigma en la etapa de empaque para reducir la variabilidad de peso en la galleta salada tipo cracker en la empresa Comestibles Integrales S.A.S*. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira]. Archivo Digital. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/1f55f84f-16ae-433e9396-613944dd5392/content>
- Ramirez, A. J. (2023). *Extrusión termoplástica de alimentos. Un abordaje simplificado*. Atena editora. <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/preguntas-y-respuestas-sobre-extrusion-termoplastica-de-alimentos-un-abordaje-simplificado>

- Reinoso Vasquez, G. (2016). *Propuesta de mejora para la reducción de productos defectuosos en una planta de producción de neumáticos aplicando la metodología Six sigma*. [Tesis para maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Archivo Digital.
- Render Heizer, B. Y. (2014). Principios de administración de operaciones (9th Edición). Pearson. <https://bookshelf.vitalsource.com/books/9786073223362>
- Scheuermann, H. P. (1989). Parámetros Importantes en El Proceso De Extrusión: Su Medición Y Significado Para La Calidad Del Producto. *Informador Técnico*, 41, 1–10. <https://doi.org/10.23850/22565035.1238>
- Scotiabank (2022). *Reporte de Estudios Económicos*.
<https://www.scotiabank.com.pe/Acerca-de/Scotiabank-Peru/Mas-informacion/reportes-de-estudios-economicos>
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing. Paso a Paso*. Alfaomega.
- Stone, B. (2019). *Lean Six Sigma (LSS) principles. In implementing Lean and Six Sigma techniques*. Editorial Society Publishing.
- Ucha, F. (marzo, 2010). *Definición de Fabricación*. Significado.com.
<https://significado.com/fabricacion/>