

Optimización de la calidad y productividad en la manufactura de pastas mediante DMAIC y herramientas Lean-Six Sigma

Optimization of Quality and Productivity in Pasta Manufacturing using DMAIC and Lean-Six Sigma Tools

Gissel Guadalupe Morales Medina¹ , Erick Uriel Morales Cruz¹ , Jair Jared Pérez Ambrosio¹  

¹ Licenciatura en Ingeniería Industrial, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo mejorar la calidad y productividad del proceso de elaboración de pastas en una empresa ubicada en Tizayuca, Hidalgo, México, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma DMAIC. Se empleó un enfoque cuantitativo basado en la recolección y análisis de datos, apoyado en herramientas como Project Charter, VoC-CtQ, hoja de verificación, AMEF, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y diferentes medidas de control. Los resultados evidenciaron que la principal causa de la variabilidad en la longitud de la pasta se relacionaba con la desalineación entre la charola y la tolva en la etapa de vibrado, así como con condiciones deficientes de secado. A partir del análisis de riesgos, se desarrollaron propuestas de mejora priorizadas mediante una matriz de Eisenhower e implementadas para reducir la merma y estabilizar el proceso. Después de su aplicación, los números prioritarios de riesgo (NPR) disminuyeron significativamente en las etapas críticas, confirmando la eficacia de las acciones correctivas. La mejora obtenida demuestra el valor del enfoque DMAIC para identificar causas raíz, optimizar parámetros operativos y fortalecer el control estadístico del proceso. Este estudio aporta evidencia práctica del impacto de Lean-Six Sigma en la industria alimentaria mexicana y su potencial para elevar la calidad y satisfacción del cliente.

PALABRAS CLAVE: Six Sigma; DMAIC; mejora de procesos; industria alimentaria; control de calidad.

ABSTRACT

The present study aims to improve the quality and productivity of the pasta manufacturing process in a company located in Tizayuca, Hidalgo, Mexico, through the application of the Six Sigma DMAIC methodology. A quantitative approach was employed based on data collection and analysis, supported by tools such as the Project Charter, VoC-CtQ, check sheet, FMEA, Ishikawa diagram, Pareto chart, and control charts. The results showed that the main cause of variability in pasta length was related to the misalignment between the tray and the hopper in the vibrating stage, as well as deficient drying conditions. Based on the risk analysis, improvement proposals were developed, prioritized using an Eisenhower matrix, and implemented to reduce waste and stabilize the process. After implementation, the RPN values decreased significantly in the critical stages, confirming the effectiveness of the corrective actions. The improvement achieved demonstrates the value of the DMAIC approach for identifying root causes, optimizing operational parameters, and strengthening statistical process control. This study provides practical evidence of the impact of Lean-Six Sigma in the Mexican food industry and its potential to enhance product quality and customer satisfaction.

KEYWORDS: Six Sigma; DMAIC; process improvement; food industry; quality control.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Jair Jared Pérez Ambrosio
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
DIRECCIÓN: Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, col. Carboneras, C. P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México
CORREO ELECTRÓNICO: pe440881@uaeh.edu.mx

Fecha de recepción: 8 de diciembre de 2025. **Fecha de aceptación:** 31 de marzo de 2026. **Fecha de publicación:** 23 de abril de 2026.



I. INTRODUCCIÓN

En un mundo globalizado y altamente competitivo, la calidad es de gran relevancia para asegurar el éxito de cualquier organización en el ámbito mundial. Debido a la amplia y diversa competencia, las empresas se ven obligadas a actualizarse y mejorar constantemente para seguir permaneciendo en el mercado, lo que indica que deben implementar estrategias o herramientas de mejora continua que ayuden a garantizar la eficiencia de los procesos internos y principalmente la satisfacción del cliente.

Desde sus orígenes, a principios del siglo XX, metodologías como Lean, Six Sigma y las siete herramientas de la calidad han sido esenciales para la mejora continua de procesos. La literatura señala que estas herramientas son determinantes para resolver la mayoría de los problemas de las organizaciones [1].

De acuerdo con la historia de la calidad, W. Edwards Deming y Joseph Juran fueron algunos de los principales pioneros en introducir estos conceptos en la industria japonesa, logrando así su transformación de manera sorprendente [2]. A raíz de esto, conforme fueron avanzando las investigaciones, surgieron metodologías, como Lean y Six Sigma, desarrolladas por Toyota y Motorola respectivamente [3], [4], que fueron diseñadas para eliminar todo lo que no genera valor y reducir la variabilidad en los procesos.

La metodología Six Sigma se apoya en el ciclo DMAIC como su principal herramienta de mejora continua, ya que ayuda a perfeccionar los procesos existentes y hacerlos más eficientes al reducir errores y variabilidad [5].

Existen múltiples beneficios al implementar estas herramientas, por ejemplo, se incrementa la productividad, se reducen costos, aumenta la eficiencia operativa, y principalmente, como ya se mencionó, eleva la calidad de los productos y servicios [6]. Sin embargo, no solo se trata de mejorar la eficiencia operativa, sino de reforzar la capacidad de respuesta de cualquier organización ante las necesidades del mundo cambiante. Por ello, al aplicar herramientas de calidad también crecen los estándares de desempeño.

Las principales herramientas que se desarrollaron a lo largo de esta investigación son principalmente el ciclo DMAIC, que pertenece a la metodología Six Sigma,

y, dentro de este mismo, se utilizaron las siete herramientas básicas de calidad (diagrama de causa y efecto, hoja de verificación, histograma, diagrama de Pareto, diagrama de dispersión, gráfica de control y estratificación), Project Charter, Voice of the Customer (VoC) y Critical to Quality (CtQ), entre otras.

Uno de los casos de éxito de la aplicación de DMAIC en la industria automotriz es, por ejemplo, la implementación de esta metodología, que pertenece a Six Sigma, como elemento clave para lograr una reducción en la variabilidad de los procesos de una industria maquiladora del sector automotriz [7]. Además, permitió realizar una evaluación previamente para que después se implementarán las mejoras en el sistema.

De acuerdo con Rodríguez [8], el resultado de implementar esta metodología en una empresa del sector acuícola significó una reducción de costos impresionante, ya que gracias a ella se logró revelar las causas principales de dichos costos que estaban asociados a la falta de estandarización, fallas en la comunicación y la rotación del personal. Una vez identificadas las causas raíz, se establecieron mejoras en el sistema que fortalecieron el ambiente de trabajo, los costos de distribución disminuyeron y la variabilidad estadística mejoró.

Dado el impacto positivo de esta metodología, se decidió implementarla en este artículo como herramienta principal para la solución de un problema específico de una empresa mexicana mencionada. Por ello, el objetivo del presente trabajo es presentar el desarrollo de la metodología DMAIC Six Sigma aplicada a la mejora de la calidad de productividad de una empresa que se encuentra en el municipio de Tizayuca, Hidalgo, México, la cual se dedica a producir pastas y *pellets*, y que actualmente está sufriendo un problema debido a la variabilidad de longitud que existe en el tamaño final de las pastas.

El desarrollo de este artículo consiste en la exposición de la metodología utilizada, sustentada en fundamentos teóricos. Posteriormente, se contextualiza la problemática mediante la descripción de la situación actual de la empresa. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la investigación, seguidos de una discusión sobre la aplicación de la herramienta DMAIC de Six Sigma. Finalmente, se plantean las conclusiones correspondientes.

II. METODOLOGÍA

En este trabajo se asumió un enfoque cuantitativo, dado que se llevó a cabo la recolección de datos numéricos así como también del uso de herramientas estadísticas, lo cual condujo a la implementación de la metodología Six Sigma DMAIC. La [Figura 1](#) incluye un resumen de los pasos de la metodología.

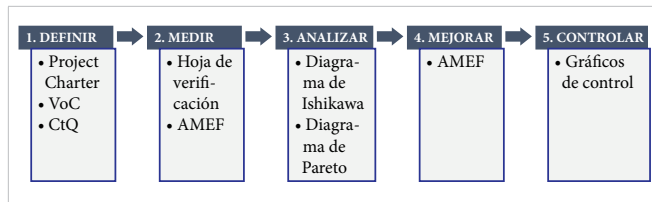


Figura 1. Metodología DMAIC y herramientas utilizadas.

FASE 1: DEFINIR

La fase de definir es la parte más importante y esencial de esta metodología, dado que es donde se determina el problema a resolver y aparecen los diferentes KPI, también conocidos como indicadores de calidad, que permiten obtener un amplio conocimiento sobre la situación actual [9], y también se establece un objetivo de mejora. Por ello, en esta fase se utilizaron las herramientas Project Charter, Voice of the Customer (VoC) y Critical to Quality (CtQ), las cuales se definen a continuación.

- Project Charter es un acuerdo desarrollado por las partes interesadas (clientes y prestadores de servicios/productos) para obtener el compromiso, recursos y responsabilidades de ambos grupos, así como compartir la idea del porqué se realiza el proyecto, los tiempos y límites establecidos antes de comenzar [10].
- VoC proporciona información relacionada a las necesidades, deseos y expectativas de los clientes acerca de un producto o servicio, permitiendo a las empresas alinearse a esos requerimientos y optando mejoras continuas.
- CtQ es una herramienta que, en conjunto con el VoC (Voice of the Customer), permite alinear y especificar las necesidades en relación a las características del producto/servicio que esté demandando el cliente de forma cuantificable [11].

FASE 2: MEDIR

En la segunda fase, que permite evaluar de forma actual el proceso que se desea mejorar en función del problema encontrado [12], ocurre la recolección de datos para cuantificar las ineficiencias que existan dentro del proceso [13]. Dicha evaluación se hace por medio de la aplicación de una hoja de verificación que posibilita observar de manera visual aquellos problemas que mayormente se presentan dentro del proceso y poder tener una visión más general de lo que está sucediendo. Con el objeto de profundizar aún más en el examen de la situación, se emprende un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF), pues esta herramienta desglosa fallas y sus posibles riesgos, así como las medidas que se tienen en ese momento.

FASE 3: ANALIZAR

Una vez obtenida la información recopilada de la fase 2, se puede pasar a determinar y analizar la causa raíz del problema que está impidiendo y repercutiendo en los procesos y estándares de calidad. En esta parte pretende encontrar patrones que muestren el comportamiento del proceso, permitiendo de igual forma hallar posibles áreas y oportunidades de mejora que dan pauta a la fase siguiente.

De igual forma, se considera es aquí donde se busca comprender la causa raíz del problema presentado en la fase 1, a través del uso de diversas herramientas estadísticas [14] que, en este proyecto, fueron el diagrama de causa-efecto, también conocido como de Ishikawa, y el diagrama de Pareto.

FASE 4: MEJORAR

Una vez obtenida la información previa necesaria, dentro de esta fase se pretende encontrar soluciones, acciones y herramientas que permitan atacar de forma positiva esta causa raíz. Asimismo, en esta etapa del proyecto es importante observar que las propuestas de mejora reduzcan o corrijan el problema, teniendo presente que se busca atacar el origen del problema y no sus efectos [15]. Para ello, en el presente proyecto se llevaron a cabo lluvias de ideas que permitieron obtener diferentes alternativas de mejoramiento, completando herramientas como el AMEF, y se implementó una matriz de priorización con el fin de agilizar las partes más esenciales de la mejora, dado que utiliza un formato de

cuatro cuadrantes, agrupando la información de acuerdo a su importancia.

FASE 5: CONTROLAR

Esta es la última fase de la metodología, la cual permite a la organización, empresa u área mantener las acciones de mejora de forma estable, pues se enfoca en mantener un seguimiento constante de los procesos a través del monitoreo de diversas herramientas.

De acuerdo a un caso de estudio presentado por Echeverría [16], y con éxito positivo en una empresa, que el uso de gráficos de control permitió corroborar si dicho proceso se mantiene estable o no, puesto que la finalidad de estos es justamente analizar y monitorear la variabilidad de los procesos. Por esta razón, en la presente investigación también empleó esta herramienta estadística con el fin de tener una amplia veracidad de que dichos procesos estén trabajando de manera eficiente o, por el contrario, revisar nuevamente la fase 4 e implementar nuevas propuestas de mejora en caso de que dicho proceso no se haya mantenido estable.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan a continuación por cada una de las etapas de la metodología.

FASE 1. PROJECT CHARTER, VoC Y CtQ (DEFINIR)

Project Charter

Como parte inicial de este proyecto, se aplicó la herramienta Project Charter, la cual permite definir claramente los elementos importantes para un proyecto de mejora, tales como la descripción del problema o caso de estudio; los objetivos, tanto el general como los específicos; las métricas de éxito y el alcance del proyecto. Este recurso es muy utilizado en metodologías como Six Sigma y Lean Manufacturing, ya que facilita la comprensión y alineación del equipo de trabajo con el proyecto.

Como se puede observar en la [Tabla 1](#), el objetivo principal de este proyecto es implementar mejoras en el proceso productivo de una empresa con el fin de disminuir el porcentaje de merma en el proceso de vibrado, el cual se derivó de la aplicación de las herramientas VoC y CtQ.

TABLA 1
PROJECT CHARTER

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Título del proyecto	Reducción de la merma generada por la ruptura de la pasta
Caso	En el proceso de producción de pastas, se detectó que la pasta llega en buen estado desde los proveedores, sin embargo, se presentan rupturas en las fases consecutivas del proceso, específicamente en la zona del vibrador, lo que genera merma y rechazo del producto por mala apariencia.
Objetivo general	Disminuir el porcentaje de merma en el proceso de vibrado.
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar las causas de la fractura de la pasta en el proceso de vibración. - Analizar las dimensiones actuales de la máquina (vibrador). - Medir la variabilidad de la longitud de la pasta. - Proponer un rediseño para evitar la ruptura de la pasta. - Evaluar la mejora.
Métricas (CtQ)	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de merma antes y después de la mejora. - Porcentaje de pastas fuera de tolerancia.
Alcance del proyecto	Departamento de producción, calidad y planeación de proyectos .

Voice of Customer (VoC)

El VoC forma parte del Despliegue de la Función de Calidad (Quality Function Deployment, QFD) y se entiende como el proceso de identificar las necesidades del cliente, estructurarlas y darles prioridad [17].

En congruencia con este enfoque, en esta investigación se aplicó esta herramienta con el fin de identificar, conocer y analizar las necesidades, expectativas y quejas de los clientes para traducir esta información en requerimientos clave para la mejora de los procesos y la calidad del producto.

Para la recolección de información se emplearon diversas fuentes, entre las que destacan:

- Porcentaje de rechazos. Se realizó el análisis de los rechazos que se observaron en el último trimestre con respecto al producto.
- Encuestas a clientes. Se aplicaron 100 encuestas a clientes finales de manera aleatoria para conocer su punto de vista.
- Quejas y sugerencias registradas. Se revisaron todas las quejas, opiniones y sugerencias de los clientes

registradas durante un periodo de tiempo mediante los medios físicos y redes sociales.

Posteriormente, la información obtenida fue analizada y estructurada mediante un diagrama de afinidad, que es una herramienta que facilita la estructuración de datos cualitativos al agrupar ideas similares en categorías representativas, de tal manera que ayuda a identificar patrones y tendencias en las opiniones de los clientes.

Como resultado de este análisis, se identificaron tres principales necesidades: 1) consistencia en tamaño y forma: se requiere uniformidad en la longitud y grosor; 2) calidad del producto: que los productos finales cuenten con buena apariencia y sin rupturas y 3) durabilidad: la pasta presenta mucha fragilidad durante su manipulación.

CtQ

A partir de estas necesidades se establecieron los Críticos para la Calidad (Critical to Quality, CtQ) para traducir la *voz del cliente* en características medibles que ayuden a la mejora de los procesos (Tabla 2).

TABLA 2
VoC - CtQ

VoC	CtQ
Consistencia en tamaño y forma	Longitud promedio de pasta dentro del límite de tolerancia
Calidad del producto	Porcentaje de piezas defectuosas por lote
Mayor durabilidad	Resistencia mínima de la pasta

Los CtQ seleccionados como prioritarios para este estudio son la longitud promedio de la pasta, el porcentaje de piezas rotas en un lote y la resistencia de la pasta

Estos indicadores pueden representar la base para implementar estrategias de mejora, de acuerdo con los requerimientos de los clientes.

FASE 2. HOJA DE VERIFICACIÓN Y AMEF (MEDIR)

Hoja de verificación

Durante el análisis del proceso de elaboración de la pasta, se llevó a cabo la inspección de 30 pequeños lotes diarios, considerando una población de 300 lotes como producción promedio, dado que se optó por tomar un

muestreo sistemático durante cinco días porque dicha elaboración se realiza continuamente y, además, esta técnica es rápida y fácil. Al final del análisis, se obtuvo 150 muestras. El intervalo de muestreo se determinó tras dividir el tamaño de la población (300) sobre el número de muestras a tomar (30), arrojando así un intervalo de 10 lotes, lo cual significó que cada 10 lotes se tomaría una nueva muestra de la línea de producción.

Dado que las muestras fueron recolectadas en la etapa final del proceso como una última inspección final aplicada temporalmente, los defectos arrojados en la Tabla 3 corresponden a distintas etapas de la producción, por lo cual se realizó un análisis integral del proceso con el fin de clasificarlos según su posible origen, permitiendo posteriormente identificar la etapa crítica responsable de la mayor contribución a la merma.

TABLA 3
HOJA DE VERIFICACIÓN

TIPO DE DEFECTO	FRECUENCIA
Dimensiones fuera de rango	40
Fragilidad durante manipulación	31
Producto rechazado por variaciones no clasificadas (otros)	24
Masa de pasta porosa	19
Masa de pasta muy húmeda	13
Textura no uniforme	11
Pasta con rebabas	6
Empaque dañado	4
Producto fuera de gramaje	2
Total	150

Se puede apreciar de manera descendente aquellos hallazgos que tuvieron un impacto importante dentro de la producción de pastas, donde se observa también que los defectos que tuvieron mayor número de apariciones son cuatro, con valores de 40, 31, 24 y 19: *dimensiones fuera de rango, fragilidad durante manipulación, producto rechazado y masa de pasta porosa*, respectivamente. Sin embargo, se observan otros defectos, que, dada su frecuencia, no representan un enfoque alarmante, pero sí es de gran importancia atenderlos para descartar posibles problemas en un futuro.

AMEF

Como parte de los resultados de esta fase y para enriquecer la información, se obtuvo un AMEF de proceso (Tablas 4-A y 4B) que recopiló la siguiente información

con la ayuda de la hoja de verificación, que permitió desglosar aún mejor los defectos presentados y dio paso a una medición más amplia y precisa de cómo se encon-

traba dicho proceso para posteriormente poder analizarlos. A continuación se muestra el AMEF de proceso.

TABLA 4-A
AMEF DEL PROCESO: ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL

N.º PROC.	OPERACIÓN	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO DE FALLA POTENCIAL	S	CAUSA POTENCIAL	O
1	Molienda	Granulometría irregular	Afectación de la textura de la pasta	3	Aspas desalineadas o sin filo	4
		Daño térmico al almidón	Gelatinización pronta, falta de firmeza, desintegración	7	Incremento de la temperatura por fricción	4
2	Tamizado	Dispersión del trigo desigual	Secado no uniforme o puntos frágiles	2	Tamices en mal estado, mala calibración o tiempo inadecuado	3
3	Mezclado Amasado	Aire atrapado en la pasta	Formación de burbujas, debilidad estructural de la pasta	4	Velocidad de mezclado incorrectamente	5
		Distribución y adición incorrecta de ingredientes	Paro en la producción, mal consistencia final	8	Error por factor humano,	2
		Exceso de humedad en la pasta	Tiempo excesivo de secado, falta de consistencia	6	Control deficiente de humedad durante el proceso	4
4	Extrusión	Deformación o rupturas de la pasta	Pasta con formas irregulares o rotas	4	Presión inadecuada de extrusión, falta de humedad o matriz dañada	2
		Porosidad o compactación deficiente	Flujo de pasta y velocidad de extrusión irregular	2	Pasta quebradiza al secar y sin firmeza	4
		Contaminación cruzada	Inclusión de partículas extrañas en el producto	8	Falta de limpieza en las matrices, descuido humano	1
5	Cortado	Dimensiones incorrectas	Producto fuera de especificación (mermas)	5	Error de calibración de corte	3
		Formación de rebabas	Malformación de la pasta o <i>pellets</i>	3	Mala alineación de las cuchillas	2
		Rotura de piezas	Generación de mermas y rebaba por mal corte	4	Presión de corte inadecuada	2
6	Secado	Secado no homogéneo	Partes blandas(húmedas)	5	Mala distribución del aire, tiempo diferente de secado	3
		Roturas internas de la pasta	Pasta con estabilidad y firmeza fuera de especificaciones	8	Tiempo de secado incorrecto, ventilación con diferentes temperaturas	4
7	Vibrado	Rotura de pasta seca	Producto fuera de especificación (mermas)	7	Secado fuera de especificaciones	6
		Daño en el producto	Rechazo de producto	8	Separación alta de dispensador, diseño inadecuado de criba o equipo	4
8	Dispensador	Incorrecta distribución por empaque	Rechazo de lotes y paro de línea	4	Calibración inadecuada del equipo	2
9	Empaque-tado	Uso de material de baja calidad	Daño del empaque durante su manejo	3	Aceptación errónea de material de baja calidad, manejo incorrecto del producto	1
		Incorrecto sellado del producto	Reducción de la calidad producto y vida útil, rechazo de lotes	2	Temperatura incorrecta de sellado	4

Abreviaturas. Proc.: proceso; S: severidad; O: ocurrencia.

Para ponderar *severidad*, *ocurrencia* y *detención* en el AMEF, se usaron las tablas con los valores obtenidos

por la AQS (American Society for Quality), que es la comunidad de expertos en calidad más grande del mundo.

AMEF DEL PROCESO: CONTROLES EXISTENTES DE PREVENCIÓN Y DETENCIÓN

No. PROC.	OPERACIÓN	CONTROLES EXISTENTES DE PREVENCIÓN DE PROCESO	CONTROLES EXISTENTES DE DETENCIÓN DE PROCESO	D	NPR
1	Molienda	Calibración inicial y mantenimientos programados	Inspección granular	3	36
		Sensores de temperatura	Inspección de humedad de la pasta	2	56
2	Tamizado	Mantenimiento a tamizadores, reporte de tiempos	Inspección granular	2	12
3	Mezclado Amasado	Automatización de mezclado	Inspección visual de burbujas y textura	3	60
		Check list de adición y tiempos de mezclado	Revisión final de actividad	2	32
		Detector de humedad durante el proceso	Inspección de humedad de la pasta final	4	96
4	Extrusión	Verificación de presión y calibración	Inspección durante la extrusión	3	24
		Control de temperatura y monitoreo	Muestreo de producto	5	40
		Mantenimiento y desinfección controlada	Inspeccionar producto después del paso por matriz	2	16
5	Cortado	Control de longitudes	Inspección de tamaño	4	60
		Ajuste periódico	Inspección de producto post-corte	4	24
		Ajuste de presión de acuerdo a la pasta	Inspección de producto durante corte	2	16
6	Secado	Evaluaciones de ventilación uniformes	Muestras durante el proceso	5	75
		Monitoreo de temperatura y tiempo de secado	No se hace	9	288
7	Vibrado	No se hace	Inspección final de medidas	5	210
		No se hace	Inspección final de medidas	6	192
8	Dispensador	Sensores de peso	Inspección de lotes	3	24
9	Empaquetado	Verificación visual del empaque	Inspección final de lotes	6	18
		Control de temperatura y monitoreo	Inspección final de lotes	4	32

Abreviaturas. Proc.: proceso; D: detención.

De acuerdo al estudio realizado, se observa que en los diversos procesos de la producción de pasta o *pellets* existen diversas formas de llevar un control previo al siguiente proceso, sin embargo, muchas veces estos controles pueden fallar o no existir, como lo fue para el proceso 7 (vibrado), donde no se cuenta con un control de prevención sino que solo tiene los de detención del proceso.

Esta herramienta permite observar los números de prioridad de riesgo, teniendo así los siguientes valores más altos de NPR: 288, 210 y 192, obtenidos al multiplicar los valores de severidad, ocurrencia y detección que corresponden al proceso de secado y vibrado.

FASE 3. DIAGRAMAS DE ISHIKAWA Y PARETO (ANALIZAR)

Diagrama de Ishikawa

La Figura 2 muestra el diagrama de Ishikawa elaborado para conocer las causas raíz del problema y que se ca-

racteriza por estar dividido en seis categorías: Medición, Material, Mano de obra (personal), Medio ambiente (Entorno), Métodos y Máquinas.

Cada categorías cuenta con dos posibles causas que se enlazan al concepto principal (Figura 2).

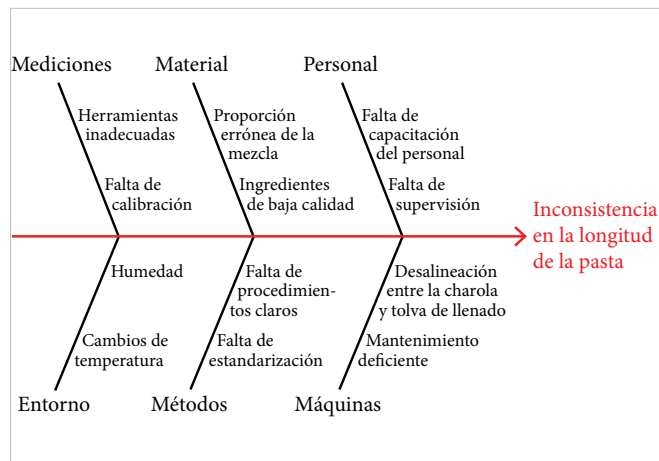


Figura 2. Diagrama de Ishikawa.

Diagrama de Pareto

Esta herramienta permite identificar y priorizar los problemas que se presentaron en el diagrama anterior (Figura 2). En la presente investigación, se recolectaron los datos durante dos meses para identificar con qué frecuencia ocurría cada defecto, sin embargo, y antes de pasar a dichos resultados, se optó por realizar un diagrama de Pareto (Figura 3) a partir de los datos recolectados del AMEF mostrados en la Tabla 5, con la intención de tener una comparativa entre ambos estudios para, finalmente, tomar una decisión más certera sobre las cosas a priorizar. A continuación se muestran los resultados de cada NPR obtenidos en la fase anterior:

TABLA 5
MODOS DE FALLA Y NPR

MODOS DE FALLA	NPR
Granulometría irregular	36
Daño térmico al almidón	56
Dispersión del trigo desigual	12
Aire atrapado en la pasta	60
Distribución y adición incorrecta de ingredientes	32
Exceso de humedad en la pasta	96
Deformación o rupturas de la pasta	24
Porosidad o compactación deficiente	40
Contaminación cruzada	16
Dimensiones incorrectas	60
Formación de rebabas	24
Rotura de piezas	16
Secado no homogéneo	75
Roturas internas de la pasta	288
Rotura de pasta seca	210
Daño en el producto	192
Incorrecta distribución por empaque	24

De acuerdo con la información, se obtuvo el diagrama de Pareto (Figura 3), en la que se observa que dentro de las causas primordiales con mayor NPR, y como primera hipótesis sobre el problema, se encuentran las roturas internas de la pasta, roturas de pasta seca y daño en el producto, lo cual sugiere que la solución al problema se encuentra en dichas causas.

Una vez planteado el primer elemento a comparar, a continuación se muestra la Tabla 6 con las frecuencias registradas durante los dos meses sobre los defectos mostrados en el diagrama de Ishikawa (Figura 2)

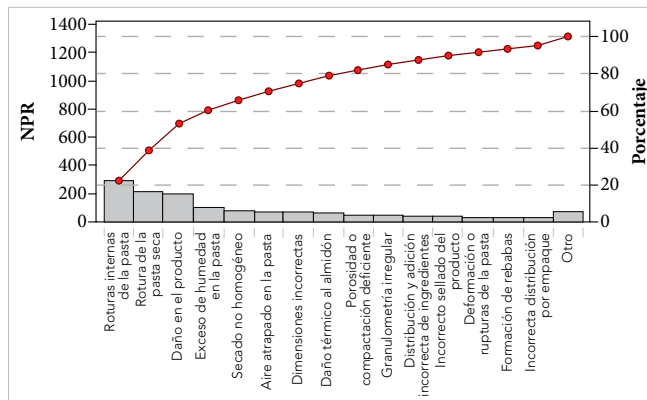


Figura 3. Diagrama de Pareto - Modos de falla.

TABLA 6
CAUSAS Y FRECUENCIA DE DEFECTOS

DEFECTOS	FRECUENCIA	%
Falta de capacitación del personal	22	36.67
Falta de supervisión	25	41.67
Mantenimiento deficiente	4	6.67
Desalineación entre charola y tolva de llenado	45	75.00
Ingredientes de baja calidad	3	5.00
Proporción errónea de la mezcla	3	5.00
Falta de estandarización	2	3.33
Falta de procedimientos claros	20	33.33
Herramientas inadecuadas	10	16.67
Falta de calibración	30	50
Cambios de temperatura	1	1.67
Condiciones inadecuadas	1	1.67

A partir de esta información se elaboró el diagrama de Pareto (Figura 4) que muestra la información siguiente:

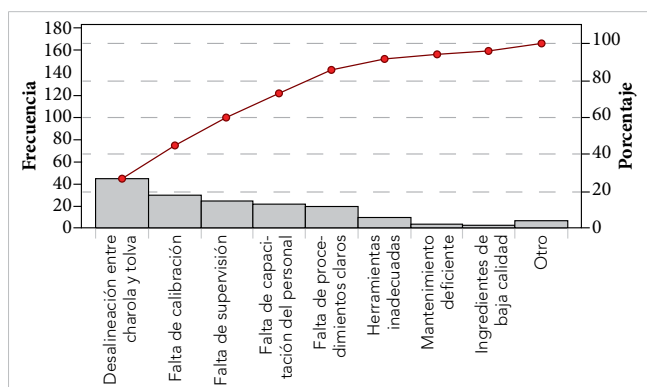


Figura 4: Diagrama de Pareto.

En la Figura 4 se observa que la principal razón por la que existe inconsistencia en la longitud de la pasta es porque la charola y la tolva están desalineadas, es decir, la posición de cada una es incorrecta, lo que hace que exista una variación en el tamaño de la pasta.

De acuerdo a ambos análisis, se observa que aunque en el AMEF el NPR más alto es roturas internas de la pasta (proceso de secado), no es el principal problema a solucionar, puesto que, en la práctica (véase el segundo Pareto, [Figura 4](#)), la principal razón por la que hay inconsistencia en la longitud de la pasta se debe a la desalineación entre la charola y la tolva, lo que también está entre los NPR altos del AMEF ([Tabla 4](#)) y que pertenece al proceso de vibrado como daño en el producto.

FASE 4. AMEF Y MATRIZ EISENHOWER (MEJORAR)

Después de haber detectado la causa del problema, se llevó a cabo una serie de propuestas de mejoras ([Tabla](#)

7) generadas durante una lluvia de ideas que permitan reducir los índices de NPR de cada uno de los procesos, que, aunque no todos afectaban directamente el problema en dicho momento, pueden llegar a ser un problema real en un futuro. Por tanto, se optó por un enfoque en lo que más urge y se recurrió a una matriz de Eisenhower con la ponderación de los NPR del AMEF.

Con base en el AMEF implementado ([Tabla 4](#)) se generaron las siguientes propuestas de mejora mostradas en la [Tabla 7](#), de acuerdo a los controles actuales de prevención y detención de proceso que permitirán reducir los índices de NPR.

TABLA 7
PROPUESTAS DE MEJORA (AMEF)

OPERA- CIÓN	CAUSA POTENCIAL	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	RESULTADO DE ACCIONES TOMADAS
Molienda	Aspas desalineadas o sin filo	Capacitación técnica a operarios	RH y Calidad	Molienda uniforme
	Incremento de la temperatura por fricción	Monitorear velocidad de rotación	Producción y Calidad	Temperatura constante
Tamizado	Tamices en mal estado, mala calibración o tiempo inadecuado	Capacitaciones técnicas sobre calibrado e inspección	RH y Calidad	Granulometría homogénea y adecuada
Mezclado/ Amasado	Velocidad de mezclado incorrectamente,	Monitorear velocidad mezclado	Producción y Calidad	Pasta uniforme y suave
	Error por factor humano,	Automatización de ingredientes	Producción	Pasta homogénea
	Control deficiente de humedad durante el proceso	Colocar campana de extracción de humedad	Mantenimiento y Producción	Mayor estabilidad y control de la humedad ambiental
Extrusión	Presión inadecuada de extrusión, falta de humedad o matriz dañada	Realizar pruebas de calibración de máquinas	Asegurador de calidad y mantenimiento	Presión constante y calibración correcta
	Pasta quebradiza al secar y sin firmeza	Ajuste de parámetros de extrusión	Producción	Compactación perfecta
	Falta de limpieza en las matrices, descuido humano	Capacitación constante sobre Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)	RH y Calidad	Producto libre de contaminantes
Cortado	Error de calibración de corte	Realizar pruebas de calibración de máquinas	Asegurador de calidad y mantenimiento	Control estable de dimensiones
	Mala alineación de las cuchillas	Mantenimiento y limpieza constante	Producción y mantenimiento	Eliminación de rebabas y control de cortado
	Presión de corte inadecuada	Estandarizar la presión de corte	Producción	Reducción de merma y rebaba
Secado	Mala distribución del aire, tiempo diferente de secado	Implementación de secado automatizado	Producción y Planeación	Secado homogéneo y controlado
	Tiempo de secado incorrecto, ventilación con diferentes temperaturas	Diseño de experimentos	Asegurador de calidad y producción	Ventilación uniforme y estructura estable
Vibrado	Secado fuera de especificaciones	Implementación durante el proceso	Asegurador de calidad	Estabilización y control de las especificaciones
	Separación alta de dispensador, diseño inadecuado de criba o equipo	Implementación de un <i>fixture</i>	Asegurador de calidad y mantenimiento	Estabilización del producto durante su proceso, altura correcta
Dispensador	Calibración inadecuada del equipo	Implementar un programa de calibración o reemplazo	Mantenimiento y producción	Correcto gramaje en los productos
Empaquetado	Aceptación errónea de material de baja calidad, manejo incorrecto del producto	Mejorar proceso de aceptación de materiales	Asegurador de calidad y logística	Materiales con las especificaciones correctas
	Temperatura incorrecta de sellado	Mantenimiento constante de maquinaria	Mantenimiento	Aseguramiento de cero fallas en la temperatura

De acuerdo a cada una de las causas potenciales presentadas en el AMEF principal (Tabla 4) se tuvieron las propuestas escritas en la Tabla 7, así como los responsables de llevar a cabo dichas acciones recomendadas y los resultados que se esperaban obtener de la implementación de cada una de ellas.

Para un control eficaz sobre la implementación de cada una de estas recomendaciones, se realizó la siguiente Matriz de Eisenhower (Tabla 8) que muestra el orden de importancia de cada una de ellas.

TABLA 8
MATRIZ DE EISENHOWER

		URGENTE	NO URGENTE
		Hacer	Programar
Importante	Diseño de experimentos	Colocar campana de extracción de humedad	
	Implementación durante el proceso	Implementación de secado automatizado	
	Implementación de un <i>fixture</i>	Monitorear velocidad mezclado	
		Realizar pruebas de calibración de máquinas	
		Monitorear velocidad de rotación	
		Ajuste de parámetros de extrusión	
		Capacitación técnica a operarios	
		Delegar	Eliminar
No importante	Automatización de ingredientes		
	Mantenimiento constante de maquinado		
	Realizar pruebas de calibración de máquinas		
	Mantenimiento y limpieza constante		
	Implementar un programa de calibración o replazo		
	Mejorar proceso de aceptación de materiales		
	Capacitación constante sobre BPM		
	Estandarizar la presión de corte		
	Capacitaciones técnicas sobre calibrado e inspección		

La Tabla 8 muestra que las acciones recomendadas que más urgían son las de la sección “Hacer” y, posterior a ella, sigue la de “Programar” y por último “Delegar”, ya que en este caso no hubo acciones que hayan sido eliminadas.

Como resultado de la implementación de estas acciones de mejora, se obtuvieron de NPR expuestos en la Tabla 9, que muestran los resultados de haber llevado a cabo correctamente cada una de las acciones y mejoras recomendadas en dichos procesos.

De acuerdo a los nuevos índices NPR mostrados en la Tabla 9, se puede observar una disminución considerable de cada uno de ellos en especial de los que representaban un problema mayor, lo cual indica que se

resolvió de forma eficaz el problema principal, que era una inconsistencia en la longitud de la pasta. Asimismo, se cumplió con el objetivo de reducir la merma en el proceso de vibrado, dando una disminución del 80 %.

FASE 5. CONTROLAR

Dentro de esta fase se establecieron criterios de monitoreo para asegurar la estabilidad del proceso, mediante la definición de límites de especificación y el seguimiento de indicadores clave de calidad (CtQ). Se propone la implementación de gráficos de control tipo \bar{X} -R como herramienta de vigilancia estadística, sin embargo, debido a la disponibilidad limitada de datos posteriores a la mejora, su aplicación queda planteada como trabajo futuro. No obstante, se definieron acciones de control

tales como la calibración periódica de equipos, la estandarización de parámetros operativos y la verificación continua del cumplimiento de especificaciones, mismas que fueron implementadas a nivel operativo dentro de

la empresa. En este sentido, el monitoreo continuo asociado a dichas acciones queda fuera del alcance temporal del presente estudio, por lo que no se incluyen representaciones gráficas de control.

TABLA 9
RESULTADOS IMPLEMENTADOS DENTRO DEL AMEF (ÍNDICES NPR)

OPERACIÓN	CAUSA POTENCIAL	S	O	D	NPR FINAL
Molienda	Aspas desalineadas o sin filo	3	2	2	12
	Incremento de la temperatura por fricción	7	2	1	14
Tamizado	Tamices en mal estado, mala calibración o tiempo inadecuado	2	2	1	4
Mezclado/ Amasado	Velocidad de mezclado incorrectamente,	4	3	1	12
	Error por factor humano,	8	1	1	8
	Control deficiente de humedad durante el proceso	6	2	2	24
Extrusión	Presión inadecuada de extrusión, falta de humedad o matriz dañada	4	2	1	8
	Pasta quebradiza al secar y sin firmeza	2	2	3	12
	Falta de limpieza en las matrices, descuido humano	8	1	1	8
Cortado	Error de calibración de corte	5	2	2	20
	Mala alineación de las cuchillas	3	1	1	3
	Presión de corte inadecuada	4	2	2	16
Secado	Mala distribución del aire, tiempo diferente de secado	5	1	1	5
	Tiempo de secado incorrecto, ventilación con diferentes temperaturas	8	1	1	8
Vibrado	Secado fuera de especificaciones	7	1	1	7
	Separación alta de dispensador, diseño inadecuado de criba o equipo	8	1	1	8
Dispensador	Calibración inadecuada del equipo	4	1	1	4
Empaque-tado	Aceptación errónea de material de baja calidad, manejo incorrecto del producto	3	1	1	3
	Temperatura incorrecta de sellado	2	1	1	2

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología DMAIC permitió identificar, analizar y corregir de manera efectiva la principal causa de la inconsistencia en la longitud de la pasta: la desalineación entre la charola y la tolva en el proceso de vibrado. A través del uso integrado de herramientas como el Project Charter, VoC-CtQ, hojas de verificación, AMEF, diagramas de Ishikawa y Pareto, así como la matriz de Eisenhower, fue posible priorizar los modos de falla, estructurar las acciones de mejora y establecer controles robustos para minimizar su ocurrencia, mismos que han sido propuestos dentro de las acciones recomendadas del AMEF.

Los resultados evidenciaron una reducción significativa de los principales NPR del proceso, particularmente en las etapas de secado y vibrado, las cuales representaban los riesgos más críticos. Además, la estandarización y ajuste de parámetros operativos, la implementación de un *fixture* para el vibrador y la mejora en prácticas de calibración y monitoreo contribuyeron a estabilizar el proceso, disminuir la merma con un resultado favorable del 80 % y mejorar la uniformidad del producto final en cuanto a consistencia física.

De manera general, este estudio demuestra que la metodología Six Sigma, combinada con herramientas de calidad clásicas y análisis estadístico, constituye un enfoque

eficaz para resolver problemas complejos en la industria alimentaria. La mejora obtenida en la estabilidad del proceso reafirma el potencial de DMAIC como una estrategia sostenible para incrementar la productividad, la calidad y la satisfacción del cliente. También, se recomienda continuar con el monitoreo mediante gráficos de control y evaluar futuras aplicaciones de diseño de experimentos (DOE) para optimizar parámetros críticos del proceso.

REFERENCIAS

- [1] K. Ishikawa, *What Is Total Quality Control? The Japanese Way*. Englewood Cliffs, NJ, EUA: Prentice Hall, 1985
- [2] J. R. Evans y W. M. Lindsay, *Administración y control de la calidad*, 8.ª ed., México: Cengage Learning, 2011.
- [3] J. P. Womack, D. T. Jones, y D. Roos, *The Machine That Changed the World*, Nueva York: Free Press, 1990.
- [4] P. S. Pande, R. P. Neuman, y R. R. Cavanagh, *The Six Sigma Way*, Nueva York: McGraw-Hill, 2000.
- [5] T. Pyzdek y P. A. Keller, *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, 4.ª ed. Nueva York, NY, EUA: McGraw-Hill, 2014.
- [6] M. R. J. Cotos y A. E. Vázquez, “Beneficios del uso de la metodología Six Sigma en el sector manufacturero: Artículo de revisión de literatura”, tesis de grado, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, 2024.
- [7] L. E. García, G. Fernández y A. Brenis, “Mejora del Sistema de Medición: Un caso aplicado a la Industria Automotriz”, *Conciencia Tecnológica*, n.º 45, pp. 41-46, 2013.
- [8] A. Rodríguez, J. Quevedo y R. Garcilazo, “Reducción de costos logísticos en una empresa agroexportadora de conchas de abanico”, *Pakamuros*, vol. 12, n.º 4, pp. 116-129, dic. 2024, doi: [10.37787/3pyv6658](https://doi.org/10.37787/3pyv6658).
- [9] V. Ortiz y H. F. Pardo, “Importancia y ventajas de los KPI (Key Performance Indicators) en los proyectos: enfoque de procesos en el sector petrolero”, trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, 2021. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/9609>
- [10] C. McKeever, “The project charter–blueprint for success,” *Crosstalk*, vol. 19, n.º 1, en. 2006.
- [11] I. Lipponen, “Developing quality through systematic process improvement: a DMAIC approach”, tesis de maestría, LUT University, Lappeenranta, Finlandia, 2024. [En línea]. Disponible: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/168374>
- [12] R. García-González, J. A. Paredes-Castañeda y E. Bayona-Ibáñez, “DMAIC como herramienta para implementar un sistema de mejora para incrementar la productividad en la industria del sombrero”, *Ingenio*, vol. 20, n.º 1, pp. 8-15, 2023. doi: [10.22463/2011642X.3371](https://doi.org/10.22463/2011642X.3371).
- [13] M. A. Martínez y J. Morales, *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*, Elche, España: Editorial Electrónica UMH, 2022.
- [14] A. G. Guamán, J. C. Moyano, J. C. Cayán y E. F. García, *Six Sigma: pasos para la mejora continua de procesos*, Quito, Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador, 2023.
- [15] H. Gutiérrez y R. De la Vara, *Control estadístico de Calidad y Seis Sigma*, México: McGraw-Hill, 2009.
- [16] J. D. Echeverría, “Nivel de pedidos perfectos de la empresa Pastas Comarrico S.A.S. en la ciudad de Barranquilla utilizando la metodología Seis Sigma”, trabajo de grado, Universidad de los Andes, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/1992/51583>
- [17] A. Griffin y J. R. Hauser, “The voice of the customer”, *Marketing Science*, vol. 12, n.º 1, pp. 1-27, 1993, doi: [10.1287/mksc.12.1.1](https://doi.org/10.1287/mksc.12.1.1).