

Implementation of Quality Management tools with CP and CPK for Defect Reduction in the Production of Metal Folders at BAUR METALMIN S.A.C.

Sarmiento-Zegarra Mariana Dalila, Estudiante Ing. Industrial¹, Velásquez-Arce Merly Vanessa, Estudiante Ing. Industrial², Quispe-Vásquez Luis Roberto, Doctor en Ciencias Económicas³

¹⁻³ Universidad Privada del Norte, Perú, n000321143@upn.pe, n00323536@upn.pe, luis.quispe@upn.edu.pe

Abstract– This study aims to implement quality management tools, specifically Cp and Cpk indices, to reduce defects in the production of metal folders at BAUR METALMIN S.A.C. in Cajamarca, Peru. Issues such as process variability, lack of standardization, and limited quality control were identified, leading to high levels of defective products and economic losses. Tools like the Ishikawa diagram, Pareto analysis, FMEA, and Six Sigma's DMAIC cycle were applied to improve the production process. Initially out-of-spec Cp and Cpk indices improved after implementing changes in maintenance, training, and workflow, reaching values above 1.0. This approach also reduced costs related to rework and waste, strengthening the company's quality culture. The proposed model is replicable for other metalworking companies.

Keywords: Cp Indices, Cpk Indices, Quality Management, Six Sigma, Continuous Improvement, DMAIC, FMEA.

Implementación de herramientas de Gestión de Calidad con el CP Y CPK para la Reducción de Defectos en la Producción de Carpetas Metálicas en la empresa BAUR METALMIN S.A.C.

Sarmiento-Zegarra Mariana Dalila, Estudiante Ing. Industrial¹, Velásquez-Arce Merly Vanessa, Estudiante Ing. Industrial², Quispe-Vásquez Luis Roberto, Doctor en Ciencias Económicas³

¹⁻³ Universidad Privada del Norte, Perú, n000321143@upn.pe, n00323536@upn.pe, luis.quispe@upn.edu.pe

Resumen– Este estudio tiene como objetivo implementar herramientas de gestión de calidad, específicamente los índices Cp y Cpk, para reducir los defectos en la producción de carpetas metálicas en la empresa BAUR METALMIN S.A.C. en Cajamarca, Perú. Se identificaron problemas como variabilidad de procesos, falta de estandarización y control de calidad limitado, lo que generaba altos niveles de productos defectuosos y pérdidas económicas. Se utilizaron herramientas como el diagrama de Ishikawa, análisis de Pareto, AMFE y el ciclo DMAIC de Six Sigma para mejorar el proceso productivo. Los índices Cp y Cpk, inicialmente fuera de especificación, mejoraron tras aplicar mejoras en mantenimiento, capacitación y flujo de trabajo, alcanzando valores superiores a 1.0. Este enfoque también redujo costos por retrabajo y desperdicios, fortaleciendo la cultura de calidad organizacional. El modelo propuesto es replicable en otras empresas del sector metalmeccánico.

Palabras clave: Índices Cp, Índices Cpk, Gestión de calidad, Six Sigma, Mejora continua, DMAIC, AMFE.

I. INTRODUCCIÓN

La eficacia de la administración de la calidad es crucial para la competitividad entre las compañías manufactureras. Por ejemplo, la competencia en la industria metalmeccánica se basa en la precisión y el mantenimiento de las tasas de falla lo más bajas posible. A pesar de esto, entendemos que la gerencia únicamente puede respaldar los esfuerzos continuos y mantener las operaciones de la compañía. Por lo tanto, factores como las tasas de desglose, la satisfacción del cliente y la eficiencia laboral están sujetos a críticas. La gestión de la calidad es el aspecto de la función de gestión que determina y aplica la política de la calidad, los objetivos y las responsabilidades y que lo realiza con medios tales como la planificación de la calidad, el control de la calidad, la garantía de la calidad y la mejora de la calidad [1]. Esta investigación examinó el impacto del uso de estos instrumentos en la disminución de los defectos en la producción de carpetas de metal, mejorando el flujo de trabajo y optimizando los procesos operativos en Baur Metalmin S.A.C., ubicado actualmente en la ciudad de Cajamarca.

La gestión de la calidad se establece como una estrategia integral enfocada en el perfeccionamiento constante de los procesos y los productos, lo cual se alcanza mediante la normalización, la supervisión y la optimización de las

operaciones. Según Ref. [2], la gestión de la calidad abarca “todas aquellas actividades de la función de gestión general que determinan la política de calidad, los objetivos y las responsabilidades que los implementan por medios tales como la planificación de la calidad, el control de la calidad, el aseguramiento de la calidad y el mejoramiento de la calidad”. En este contexto, la metodología Six Sigma se distingue por su enfoque en la reducción de la variabilidad y la eliminación de defectos; asimismo, herramientas fundamentales para el análisis de problemas, como el diagrama de Ishikawa, resultan esenciales para identificar las posibles raíces de las no conformidades. Adicionalmente, los índices de capacidad del proceso, Cp y Cpk, como explica Ref. [3], proporcionan una medida cuantitativa de la aptitud de un proceso para cumplir con las especificaciones establecidas. Estas herramientas y metodologías facilitan la detección de desviaciones, el control de la calidad en tiempo real y la evaluación de la efectividad de las acciones correctivas implementadas.

A nivel internacional, se han documentado múltiples casos exitosos de aplicación de herramientas de calidad en diferentes industrias. El diagrama de Ishikawa ha sido clave para identificar causas raíz de problemas en líneas de producción, mientras que el análisis de Pareto ha permitido priorizar intervenciones con mayor impacto. Estas herramientas, acompañadas por metodologías como Six Sigma, han sido utilizadas para minimizar la variabilidad, mejorar la confiabilidad de los procesos y aumentar la rentabilidad. De acuerdo a Ref. [5], se trata de una metodología sistemática y cuantitativa, basada en herramientas y pensamiento estadísticos, orientada a mejorar los resultados de los procesos en tres áreas: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos. Además, los gráficos de control y de frecuencia, por su parte, se destacan como recursos fundamentales para el monitoreo en tiempo real del desempeño del proceso y la identificación de causas asignables que afecten la estabilidad operativa.

En el Perú, el sector industrial ha tenido un crecimiento importante, siendo la industria metalmeccánica una pieza clave para el funcionamiento de actividades estratégicas como la minería, la infraestructura y la energía. Esta industria está

conformada, en su mayoría, por micro y pequeñas empresas que enfrentan desafíos significativos en términos de modernización tecnológica y control de calidad [6]. Uno de los principales problemas radica en la deficiente gestión de la calidad, lo que genera consecuencias como elevados índices de productos defectuosos, reprocesos constantes y desperdicio de materiales. Estas deficiencias se agravan por la limitada aplicación de herramientas estadísticas para el control de procesos y la falta de una cultura orientada a la mejora continua [7]. Esta situación impide a muchas de estas empresas mantenerse competitivas, especialmente en contextos donde la precisión y la eficiencia son determinantes para la sostenibilidad del negocio [8].

En regiones como Cajamarca, donde opera la empresa BAUR METALMIN S.A.C., la industria metalmeccánica cumple un rol fundamental en la economía local. Sin embargo, la falta de sistemas estructurados de calidad representa un problema recurrente en las líneas de producción. En especial, en la fabricación de carpetas metálicas, se observan altos índices de defectos debido a la ausencia de procesos estandarizados y al escaso seguimiento de indicadores de calidad. El estudio de la conexión entre la fabricación y el número de errores indica que un incremento en la producción no siempre implica una mejora en la calidad del artículo. Esta situación puede ser consecuencia de un aumento en la producción sin las debidas regulaciones de control de calidad, lo que resulta en una mayor proporción de defectos.[5].

Por lo que, se identifica la necesidad de aplicar un sistema de gestión de la calidad que permita mejorar el desempeño productivo de empresas como BAUR METALMIN S.A.C. La carencia de estandarización y monitoreo en los procesos genera sobrecostos por retrabajos, insatisfacción del cliente y baja productividad. Así, la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad se plantea como una alternativa estratégica para enfrentar estos desafíos y asegurar la sostenibilidad del negocio.

En tal sentido, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la implementación de herramientas de gestión de calidad, incluyendo el análisis de capacidad del proceso mediante los índices Cp y Cpk, impactará en la reducción de defectos en la producción de carpetas metálicas en la empresa BAUR METALMIN S.A.C.? Esta interrogante busca establecer la relación entre la aplicación sistemática de herramientas de calidad y la mejora de los resultados operativos, considerando que una gestión eficiente permite identificar las causas raíz de los defectos, controlar la variabilidad del proceso y aumentar la conformidad con las especificaciones técnicas.

El objetivo general de esta investigación es implementar herramientas de gestión de calidad, con énfasis en el análisis de Cp y Cpk, para reducir la cantidad de defectos en la producción de carpetas metálicas en la empresa BAUR METALMIN

S.A.C. Para ello, se han definido los siguientes objetivos específicos: diagnosticar el estado actual del proceso productivo e identificar las principales fuentes de no conformidad; medir y analizar la capacidad del proceso mediante herramientas estadísticas que permitan establecer una línea base confiable; diseñar e implementar acciones de mejora bajo el enfoque DMAIC de Six Sigma; y finalmente, evaluar el impacto de la intervención mediante la comparación de indicadores clave como la tasa de defectos, los índices Cp y Cpk y la reducción de costos por retrabajos. Esta propuesta busca no solo mejorar el desempeño de la empresa, sino también generar un modelo replicable en otras organizaciones del sector metalmeccánico regional.

Asimismo, esta investigación busca generar un modelo de intervención replicable en otras organizaciones del sector metalmeccánico, especialmente en contextos regionales como el de Cajamarca. La adopción de sistemas de gestión de calidad no solo mejora el rendimiento operativo, sino que también fortalece la cultura organizacional, incrementa la confianza del cliente y contribuye al posicionamiento competitivo de la empresa. En ese marco, se espera aportar al desarrollo sostenible e industrial de la región mediante una gestión eficiente, técnica y orientada a la excelencia.

II. METODOLOGÍA

Tipo de estudio: Descriptiva propositiva.

Procedimiento: A continuación, se describen las fases metodológicas desarrolladas durante los meses de intervención en la empresa BAUR METALMIN S.A.C., dedicada a la fabricación de carpetas metálicas. El estudio se orientó al análisis y mejora de su proceso productivo mediante herramientas de calidad como el diagrama de Ishikawa, Six Sigma y el análisis de capacidad del proceso (Cp y Cpk).

Fase 1: En la fase 1 se realizó el diagnóstico inicial del proceso de producción mediante una revisión técnica y observacional del proceso de fabricación de carpetas metálicas. Se recolectaron datos sobre la cantidad y tipo de defectos más frecuentes, así como las tasas de producción y retrabajo. A partir de esta información, se aplicó el diagrama de Ishikawa para identificar las causas raíz de los defectos, considerando categorías como: materiales, métodos, mano de obra, maquinaria y entorno.

Fase 2: Se realiza la medición de la capacidad del proceso. para posteriormente, aplicar herramientas estadísticas para analizar el comportamiento del proceso productivo antes de la intervención. Se recolectaron datos sobre variables críticas (como medidas de piezas, tasa de defectos, tiempos de ciclo) y se calcularon los índices de capacidad Cp y Cpk, con el fin de conocer el nivel de cumplimiento de especificaciones técnicas por parte del proceso. Esta información sirvió como línea base para las mejoras.

Fase 3: Se aplicó la metodología Six Sigma con el ciclo DMAIC para reducir defectos en carpetas metálicas. Se definió el problema, se midió el desempeño con gráficos de control, se analizaron las causas con Pareto e Ishikawa, se mejoró el proceso con acciones correctivas, y se controlaron los resultados mediante análisis de capacidad y estandarización de procedimientos.

Fase 4: En la etapa final se evaluó el desempeño del proceso antes y después de aplicar las mejoras mediante Six Sigma, utilizando herramientas como Ishikawa, Cp y Cpk. Se observó una notable reducción en el porcentaje de productos defectuosos, mejoras en los valores de Cp y Cpk que reflejan un proceso más eficiente, y una menor variabilidad en los nuevos gráficos de control (\bar{X} y R), con todos los puntos dentro de los límites. Además, se estimó un impacto económico positivo por la disminución de retrabajos y desperdicio, lo que incrementó la eficiencia y rentabilidad del proceso productivo.

Los resultados de esta comparación se presentan en la sección de Resultados, demostrando el impacto de las herramientas de calidad aplicadas.

III. RESULTADOS

III. Diagnóstico de la empresa

En esta etapa inicial se realizó un diagnóstico técnico y observacional del proceso productivo de carpetas metálicas en la empresa **BAUR METALMIN S.A.C.**, ubicada en la ciudad de Cajamarca. La producción se orientó al cumplimiento de un pedido específico de 400 carpetas para una institución educativa. El proceso incluye operaciones como: corte y medida de tubos, doblado, armado, soldado, pintado y colocación de tableros. Se detectaron defectos recurrentes en productos terminados, con un promedio de 2 carpetas defectuosas por semana, lo cual representa un 20 % de no conformidades mensuales respecto al promedio de producción semanal.

Para identificar las causas raíz de los defectos, se aplicó el **Diagrama de Ishikawa**, el cual permitió agrupar los problemas bajo cinco categorías principales: materiales, métodos, mano de obra, maquinaria y entorno. Los hallazgos fueron sistematizados, monetizados y priorizados a través del análisis de Pareto, con el objetivo de orientar adecuadamente las acciones correctivas.

TABLA I
PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Etapa	Técnica	Descripción
Diagnóstico	Diagrama de Ishikawa	Se analizaron e identificaron las causas raíz del problema.
	Matriz de indicadores	Se describieron y monetizaron las principales causas identificadas.
	Diagrama de Pareto	Se priorizaron las causas más relevantes de acuerdo a su impacto económico.
Solución	QFD	Se identificaron los requerimientos técnicos y del cliente.
	AMFE	Se propusieron mejoras para reducir fallas detectadas en el proceso.
	Six Sigma	Se realizó análisis estadístico y control del proceso.
Evaluación	VAN, TIR, PRI	Se evaluó la rentabilidad económica del sistema propuesto.



Fig. 1 Diagrama de Ishikawa - producción de carpetas metálicas
Nota. En la presente figura se muestran las posibles causas de los defectos en las carpetas a través de un diagrama ante el problema propuesto.

A través del diagrama de Ishikawa, se identificaron las causas principales que originan defectos en la fabricación de carpetas metálicas, agrupadas en materiales, métodos, mano de obra, maquinaria y entorno. Se detectaron deficiencias como el uso de insumos deteriorados, errores en el ensamblaje, falta de capacitación, ausencia de mantenimiento y condiciones ambientales poco adecuadas.

La monetización de las causas raíz permitió estimar una pérdida anual aproximada de S/. 16,100.00, siendo los mayores contribuyentes la falta de mantenimiento de equipos (42 %) y la deficiente planificación del proceso (33 %).

TABLA II
MONETIZACIÓN DE PÉRDIDAS POR CAUSA RAÍZ EN LA PRODUCCIÓN DE CARPETAS

Causa Raíz (CR)	Descripción	Pérdidas actuales (S/. por año)
CR-1	Falta de mantenimiento en maquinaria de corte y soldado	S/. 6,800.00
CR-2	Mala planificación del proceso de ensamblaje	S/. 5,400.00
CR-3	Falta de capacitación en el manejo de equipos	S/. 2,100.00
CR-4	Deficiencia en el control de calidad de materiales	S/. 1,800.00
Total		S/. 16,100.00

TABLA III
DATOS PARA EL DIAGRAMA DE PARETO

CR	Costo pérdida	Costo acumulado	% Costo acumulado	% N° de causas acumulado
CR-1	S/. 6,800.00	S/. 6,800.00	42.2%	25%
CR-2	S/. 5,400.00	S/. 12,200.00	75.8%	50%
CR-3	S/. 2,100.00	S/. 14,300.00	88.8%	75%
CR-4	S/. 1,800.00	S/. 16,100.00	100%	100%



Fig. 2 Diagrama de Pareto - producción de carpetas metálicas
Nota. En la presente figura se muestran las causas críticas ante las pérdidas.

El **diagrama de Pareto** confirmó que más del 75 % de las pérdidas se concentra en dos causas críticas, lo que orienta la mejora hacia intervenciones focalizadas. Este análisis respalda la necesidad de implementar herramientas de calidad para controlar la variabilidad del proceso y reducir el índice de defectos.

El análisis de capacidad del proceso (Cp y Cpk). Índices de capacidad Cp y Cpk. Esta información fue procesada en Microsoft Office Excel y aplicada en Minitab. Se determinó que el CP debe ser mayor a 1 para que el proceso sea capaz de cumplir con las especificaciones.



Fig. 3 Histograma de horas de reparación o parada
Nota. En la presente figura se muestran las horas de parada y su frecuencia.



Fig. 4 Gráfica de control CR-1
Nota. En la presente figura se muestra que el número de horas de mantenimiento en el proceso se encuentra fuera del límite de control.



Fig. 5 Histograma de variación de altura
Nota. En la presente figura se muestra la variabilidad en la altura en las carpetas metalmecánicas. Esta representación permite analizar la variabilidad de las dimensiones y la consistencia del proceso de fabricación.



Fig. 6 Gráfica de control CR-2
Nota. En la presente figura se muestra que la variación de la altura se encuentra bajo control estadístico.



Fig. 7 Histograma de errores de fabricación por día

Nota. Este análisis ayuda a identificar tendencias y a evaluar la consistencia del proceso a lo largo del tiempo.



Fig. 10 Gráfica de control CR-4

Nota. En la presente figura se muestra que el control del inventario se encuentra bajo control estadístico.



Fig. 8 Gráfica de control CR-3

Nota. En la presente figura se muestra que las horas de paradas por desabastecimientos se encuentran bajo control estadístico.



Fig. 9 Histograma de inventario de materia prima

Nota. Este gráfico permite evaluar la distribución del inventario y analizar su variabilidad en el tiempo.

1.1. Solución propuesta

Para la solución propuesta se incluyó principalmente la aplicación de tres herramientas, estas son la casa de la calidad (QFD), Análisis de modo de fallas y efecto (AMFE) y DMAIC Six Sigma. Para dar inicio se aplicó la herramienta QFD, con la que buscamos identificar los requerimientos específicos del cliente. Se determinaron los siguientes requerimientos.



Fig. 11 La casa de la calidad

Nota. Se muestra la relación entre los requisitos del cliente y las especificaciones técnicas.

TABLA IV
COMPARACIÓN CON LA COMPETENCIA

Característica	BAUR METALMIN	Competencia local
Precisión dimensional	Alta	Media
Calidad del acabado superficial	Alta	Media
Bordes seguros	Alta	Baja
Ubicación de perforaciones	Alta	Baja
Índices Cp y Cpk	> 1.33	< 1.00

Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE)

Mediante el análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE), se identificaron los fallos en el proceso de fabricación de carpetas metálicas. También, se determinaron las causas, efectos y el método de detección, a partir de esto, se determinó el NPR (Número de prioridad de riesgo), identificó a los más relevantes, para lograr reducirlos a través de acciones recomendadas que tienen por finalidad la mejora del proceso, la satisfacción de los clientes y la disminución de costos.

Fig. 12 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE)

Nota. El NPR más crítico antes de las mejoras fue 270 (control de calidad). Después de las acciones, los valores NPR finales bajaron significativamente, con todos por debajo de 75.

Six Sigma

Mediante el uso de la herramienta Six Sigma, se logró identificar la variabilidad de los datos recolectados de las variables y atributos de las causas determinadas. Se estableció el nivel Z para poder identificar algunas oportunidades de mejora que nos permita alcanzar un nivel Six Sigma, haciendo uso del ciclo DMAIC.



Nota. Muestra el informe de capacidad del proceso en relación con las horas de reparación o parada, evaluando la variabilidad y el rendimiento del proceso.

TABLA V
METODOLOGÍA DMAIC - CR-1

DMAIC	PROCEDIMIENTO
D (Definir)	Identificar y priorizar áreas críticas afectadas por la falta de mantenimiento preventivo
M (Medir)	Evaluar el estado actual de los equipos y activos mediante inspecciones visuales y registros de fallos
A (Analizar)	Usar graficas como histogramas de frecuencia
I (Mejorar)	Aumentar la frecuencia de mantenimiento
C (Controlar)	Realizar inspecciones regulares de equipos y activos mediante listas de verificación y protocolos estandarizados



Nota. Muestra el informe de capacidad del proceso de variación de altura.

TABLA VI
METODOLOGÍA DMAIC - CR-2

DMAIC	PROCEDIMIENTO
D (Definir)	Definir metas específicas para mejorar los estándares de calidad de las carpetas
M (Medir)	Implementar diagramas de control para monitorear la producción
A (Analizar)	Utilizar técnicas como el análisis Pareto para identificar equipos y áreas que requieren atención inmediata
I (Mejorar)	Implementar capacitaciones de control y planificación para los operarios
C (Controlar)	Realizar revisiones constantes a los productos finales

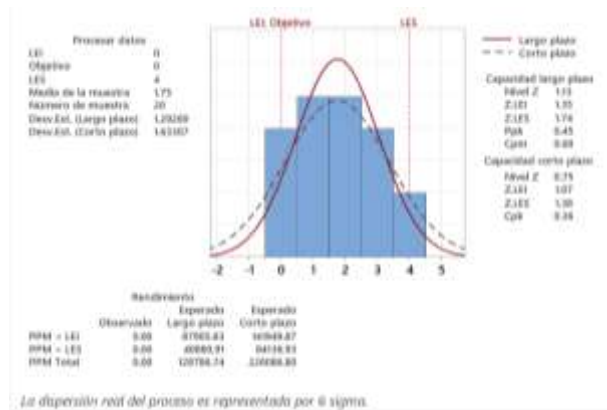


Fig. 15 Gráfica Six Sigma - CR-3

Nota. Muestra el informe de capacidad del proceso de errores de fabricación por día.

TABLA VII
METODOLOGÍA DMAIC - CR-3

DMAIC	PROCEDIMIENTO
D (Definir)	Detectar áreas críticas donde la falta de capacitación afecta la productividad
M (Medir)	Elaborar un cuadro para visualizar el flujo de producción
A (Analizar)	Identificar restricciones y problemas en cada puesto y área de trabajo
I (Mejorar)	Gestionar de manera eficiente el área de producción mediante la implementación de mejores prácticas
C (Controlar)	Estandarizar los procesos para mejorar el desempeño y calidad

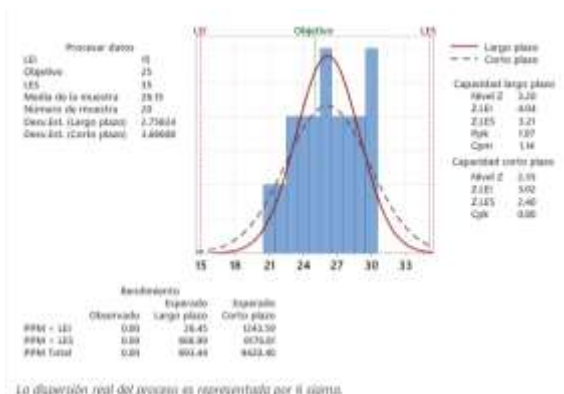


Fig. 16 Gráfica Six Sigma - CR-4

Nota. Muestra el informe de capacidad del proceso de inventario de materia prima.

TABLA VIII
METODOLOGÍA DMAIC - CR-4

DMAIC	PROCEDIMIENTO
D (Definir)	Identificar problemas críticos en el control de inventario
M (Medir)	Establecer KPIs como precisión de inventario y rotación de stock
A (Analizar)	Adaptar prácticas de gestión de inventario de empresas similares
I (Mejorar)	Implementar procedimientos operativos estándar claros para manejo diario del inventario
C (Controlar)	Monitorear KPIs regularmente para evaluar efectividad de mejoras

1.2. Evaluación económica

Se realizó una evaluación económica de cada una de las herramientas propuestas. Se han creado presupuestos para tener en cuenta cada material empleado en cada herramienta propuesta y se obtuvo una inversión final.

TABLA IX
TABLA INVERSIÓN TOTAL

Herramienta	Actividades consideradas	Costo (\$/.)
Casa de la Calidad (QFD)	Taller interno para elaborar la matriz QFD (\$/ 800)	2,500
	Recolección y sistematización de la voz del cliente (\$/ 700)	
	Diseño de matriz y documentación técnica (\$/ 1,000)	
AMFE	Capacitación básica en AMFE para el equipo de producción (\$/ 1,000)	3,200
	Identificación de modos de falla en procesos críticos (soldadura, pintado, armado) (\$/ 1,200)	
	Priorización de riesgos y elaboración de tabla AMFE (\$/ 1,000)	
Six Sigma (DMAIC, Cp y Cpk)	Capacitación en metodología DMAIC y análisis de capacidad (\$/ 1,500)	4,500
	Recolección de datos del proceso y cálculo de Cp y Cpk (\$/ 1,000)	
	Aplicación de acciones de mejora piloto (\$/ 1,200)	
Control y estandarización de procedimientos (\$/ 800)		
Total		10,200

TABLA X
ESTADO DE RESULTADOS

	MONTO (\$/)
Ingresos por mejora	40000
Costos operativos (QFD, AMFE, Six Sigma)	10200
GAV (Utilidad antes de impuestos)	29800
Impuestos (30%)	8940
Utilidad después de impuestos	20860

TABLA XI
ESTADO DE RESULTADO FLUJO DE CAJA

ABO	0	1	2	3	4	5
Utilidad después de Impuestos	\$/ 6.00	\$/ 20,860.00	\$/ 20,860.00	\$/ 20,860.00	\$/ 20,860.00	\$/ 20,860.00
Depreciación	\$/ 6.00	\$/ 2,086.66	\$/ 2,086.66	\$/ 2,086.66	\$/ 2,086.66	\$/ 2,086.66
Inversión	\$/ 10,200.00	\$/ 0.00	\$/ 0.00	\$/ 0.00	\$/ 0.00	\$/ 0.00
Flujo de Caja Neto	\$/ 12,990.00	\$/ 22,946.66	\$/ 22,946.66	\$/ 22,946.66	\$/ 22,946.66	\$/ 22,946.66

Una vez elaborados el estado de resultados y el flujo de caja, se procede al cálculo de los indicadores financieros, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

TABLA XII
 VAN Y TIR

INDICADOR	RESULTADO
Valor Actual Neto (VAN)	S/ 68,285.03
Tasa Interna de Retorno (TIR)	95.5% (aproximado)
Periodo de Recuperación de Inversión (PRI)	Menos de 0.5 años

Además, gracias a las herramientas DMAIC y Six sigma, se lograron mejorar los costos de las causas raíz. A continuación, se observa los gráficos de capacidad actuales, y las mejoradas aplicando las herramientas.



Fig. 17 Gráfica de dispersión del informe de capacidad del proceso.
 Nota. Muestra la relación entre las horas de mantenimiento y la variabilidad del proceso.



Fig. 17 Gráfica Six Sigma CR-1
 Nota. Comparación antes y después de aplicar las mejoras.

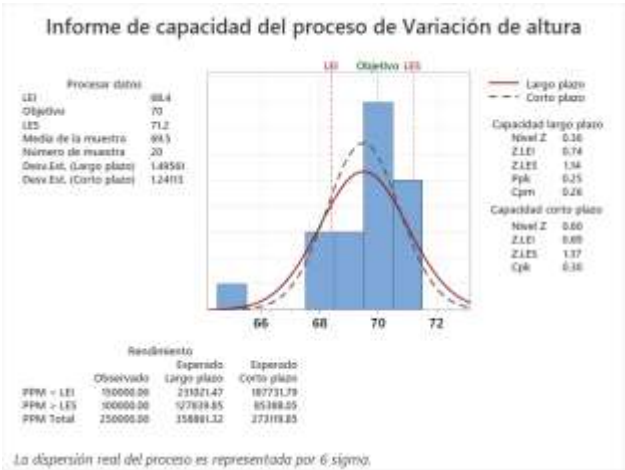


Fig. 18 Gráfica Six Sigma Variación de altura
 Nota. Muestra la variación de altura, evaluando la dispersión y el rendimiento del proceso.



Fig. 19 Gráfica Six Sigma Variación de altura mejorada CR-2
 Nota. Muestra la reducción de la variabilidad en el proceso tras las mejoras implementadas.

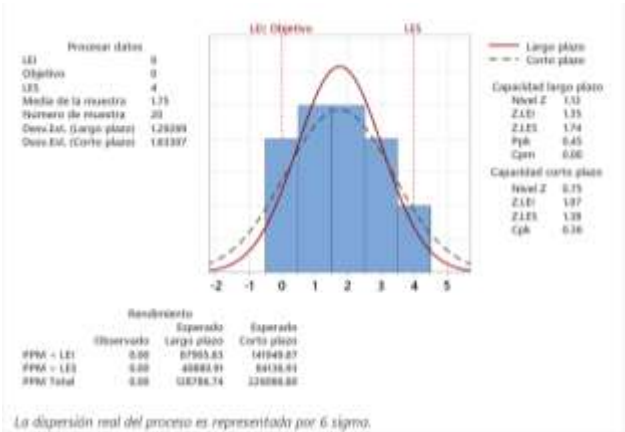


Fig. 20 Gráfica Six Sigma Errores de fabricación
 Nota. Muestra la distribución y variabilidad de los errores en el proceso de producción.

V. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en BAUR METALMIN S.A.C. permitió identificar cuatro causas raíz críticas que afectan la calidad de la producción: la falta de mantenimiento preventivo, la deficiente planificación de la producción, la escasa capacitación del personal operativo y el control inadecuado de inventarios. Estas deficiencias generan pérdidas anuales aproximadas de S/ 16,100.00, de las cuales S/ 6,800.00 corresponden al mantenimiento, S/ 5,400.00 a la planificación, S/ 2,100.00 a la capacitación y S/ 1,800.00 al inventario, lo que evidencia la necesidad de implementar acciones correctivas inmediatas.

Con la aplicación de herramientas de mejora como la Casa de la Calidad (QFD), el Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMFE) y el ciclo DMAIC de Six Sigma, se redujeron significativamente los costos operativos y se optimizó la eficiencia del proceso. Como resultado, la pérdida anual se redujo a S/ 3,344.00, lo que representa un beneficio económico neto de S/ 12,756.00 en comparación con la situación inicial.

Asimismo, a través de la metodología DMAIC de Six Sigma, se implementaron acciones de mejora tales como capacitaciones, mantenimiento programado y reorganización del proceso, lo que permitió elevar el índice Cpk de -0.05 a 1.09 y reducir en un 75 % los riesgos críticos identificados por el AMFE, fortaleciendo de manera significativa la calidad y el control del proceso.

Desde el punto de vista financiero, la propuesta resultó altamente viable: la inversión total se recuperó en un periodo corto gracias a la disminución de costos por retrabajos y desperdicios. El análisis económico arrojó un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 68,285.03, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 95.5 % y un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 0.5 años, lo que significa que la empresa recuperó lo invertido en tan solo seis meses. Estos indicadores no solo demuestran la rentabilidad de la propuesta, sino que también evidencian que la implementación de herramientas de gestión de calidad constituye una estrategia financiera sólida para garantizar la sostenibilidad y competitividad de la empresa.

Finalmente, la comparación de indicadores antes y después de la intervención mostró una reducción del 20 % en defectos, junto con la disminución de costos por retrabajo y una mejora sustancial en la eficiencia operativa. Todo ello demuestra que el modelo aplicado en BAUR METALMIN S.A.C. es efectivo, económicamente viable y replicable en otras PYMES del sector metalmeccánico con condiciones similares.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expresamos nuestro especial agradecimiento al Ing. Luis Quispe Vásquez quien, con su vocación docente, compromiso y profundo conocimiento, fue un pilar fundamental en el

desarrollo de esta investigación. Su orientación constante, claridad para enseñar y disposición para compartir experiencias enriquecieron significativamente este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Juran JM, Gryna FM. *Manual de control de calidad. Volumen 1*. 5.ª ed. México: McGraw-Hill; 1993 [citado 2025 jun 6]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=esYiEAAQBAJ&pg=PR5>
- [2] Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- [3] Montgomery, D. C. (2013). *Statistical quality control: A modern introduction* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- [4] Gutiérrez, Humberto y Vara, Román. (2009). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. 2ª Ed. McGraw-Hill. México.
- [5] Mullisaca Titi, S., & Cahui Cutimbo, D. (2024). Diseño de mejora de métodos para optimizar los procesos de fabricación en una empresa metalmeccánica. Arequipa-2024.
- [6] Ministerio de la Producción del Perú. Informe de Diagnóstico del Sector Metalmeccánico 2022. Lima: PRODUCE; 2022. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/produce/informes-publicaciones>
- [7] González Alemán G, Jiménez Martínez A. Aplicación del control estadístico de procesos en la industria metalmeccánica. Rev Ing Ind. 2020;41(1):45-54. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.76362>
- [8] Martínez-León I, Merino-Díaz de Cerio J. Calidad total y desempeño competitivo en pymes manufactureras: un enfoque estratégico. DYNA. 2019;94(3):239-244. Disponible en: <https://doi.org/10.6036/8867>
- [9] Cahuana Ríos, B. R., & Espíritu Bravo, J. D. (2021). Modelo para mejorar la eficiencia del proceso de producción con herramientas Lean Manufacturing en una PYME metalmeccánica de Lima-Perú. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654679>
- [10] Chávez Ccencho, E. F., & Huayllasco Martínez, D. M. (2021). Modelo Lean manufacturing de gestión de producción make to order basado en QRM para reducir los tiempos de entrega de pedidos en Pymes metalmeccánicas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654978>
- [11] Gutierrez Torres, O. H. (2021). Incumplimientos en producción, planeación y pérdida de clientes en empresas metalmeccánicas. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/980ef1a6-a33d-4b8b-a635-f4cfa90b8f2e/content>
- [12] Zapata Pérez MA, Ramírez Díaz DA. Optimización del plan de mantenimiento preventivo para equipos de mecanizado por arranque de viruta mediante análisis de fiabilidad y costos . <https://www.researchgate.net/publication/385435461>
- [13] OneStream Software. KPI en planificación de demanda: guía para mejorar la precisión y eficiencia operativa <https://www.onestream.com/es/blog/kpi-en-planificacion-de-demanda>
- [14] Tenorio-Suarez KR, Vargas-Chávez FT. Capacitación y desempeño laboral del personal del área de producción en la empresa Envases San Nicolás SAC, Chiclayo, 2021 <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11445>
- [15] Cearhuaypiña HL. Mejora del control de inventarios y su incidencia en la rentabilidad de las PYME del Perú: caso INSTEL PERÚ E.I.R.L., Ayacucho 2023 <https://hdl.handle.net/20.500.13032/40081>