

# Lean Six Sigma to increase operational efficiency in a coal mining company, Cajamarca 2024

Goicochea Limay, Amy Nicole<sup>1</sup>, Guevara Malca, Araceli Elizabeth<sup>2</sup> y Miñan Olivos, Guillermo Segundo<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, N00220945@upn.pe, N00207328@upn.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, guillermo.minan@upn.pe

*Abstract– The research proposes the Lean Six Sigma methodology to improve operational efficiency in a coal mining company in Cajamarca, 2024. This applied study adopts a quantitative approach, with a non-experimental, descriptive, and cross-sectional design. It thoroughly analyzes operational efficiency, identifying key areas for improvement through tools such as Pareto charts, Ishikawa diagrams, and FMEA, along with Lean Six Sigma. Critical issues in processes, equipment maintenance, training, and operational standards are highlighted, with specific solutions proposed. Furthermore, production and efficiency over a specific period are evaluated, emphasizing the impact of identified issues on productivity and product quality. Lean Six Sigma tools were assessed under the uncertainty of effectiveness, using the Laplace criterion and sensitivity analysis, showing a high likelihood of economic benefits even under adverse scenarios. It concludes that Lean Six Sigma could significantly increase operational efficiency in the coal mining sector.*

*Keywords– Lean, Six Sigma, efficiency, effectiveness*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Lean Six Sigma para incrementar la eficiencia operativa en una empresa de extracción de carbón, Cajamarca 2024

Goicochea Limay, Amy Nicole<sup>1</sup>, Guevara Malca, Araceli Elizabeth<sup>2</sup> y Miñan Olivos, Guillermo Segundo<sup>3</sup>  
<sup>1,2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, N00220945@upn.pe, N00207328@upn.pe  
<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, guillermo.minan@upn.pe

**Resumen** – La investigación propone la metodología Lean Six Sigma para mejorar la eficiencia operativa de una empresa de extracción de carbón en Cajamarca, 2024. Este estudio aplicado adopta un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo y transversal no experimental. Analiza detalladamente la eficiencia operativa, identificando áreas clave para mejora mediante herramientas como diagramas de Pareto, Ishikawa y AMEF, junto con Lean Six Sigma. Se señalan problemas críticos en procesos, mantenimiento de equipos, formación y estándares operacionales, proponiendo soluciones específicas. Además, se evalúa la producción y eficiencia en un periodo determinado, destacando el impacto de los problemas en productividad y calidad del producto. Las herramientas Lean Six Sigma fueron evaluadas bajo incertidumbre de efectividad, utilizando el criterio de Laplace y análisis de sensibilidad, mostrando una alta probabilidad de beneficios económicos incluso bajo escenarios adversos. Se concluye que Lean Six Sigma podría significativamente incrementar la eficiencia operativa en el sector de extracción de carbón.

**Palabras clave**— lean, Six Sigma, eficiencia, eficacia

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, los desafíos y problemas de la eficiencia operativa se manifiestan comúnmente dentro de las empresas manufactureras, enfrentando amenazas relacionadas con la calidad de los productos, efectividad de procesos y la conformidad con estándares internacionales. No obstante, al no ser identificados y manejados desde las fases iniciales, la capacidad de tomar decisiones sobre la orientación de los proyectos implementados dentro de las organizaciones se ve dificultada. Resulta importante tener en cuenta que entre el 5% y el 25% del costo total del proyecto se evidencian fallas en la gestión de la calidad [1]. Esto evidencia el porcentaje elevado que se presenta, conllevando a la generación de fallas, reprocesos, tiempos muertos y reducción de la eficiencia. Por tanto, es esencial adoptar con prontitud una cultura enfocada en la calidad, tanto en el sector de la industria como en todos los ámbitos económicos, esto asegura la satisfacción de las requerimientos y exigencias de la sociedad actualmente.

A nivel nacional, gran cantidad de las empresas no se encuentran preparadas ni en las condiciones esenciales para competir adecuadamente dentro del mercado. Esto está vinculado con la optimización de sus productos y servicios,

asegurando de que estas cumplan con los estándares de calidad requeridos a nivel mundial. Como prueba de lo descrito anteriormente, se ha determinado que Perú es uno de los países con menor número de empresas certificadas en la gestión de la calidad [2], solo el 1% de las empresas formales en Perú posee sistemas de gestión de la calidad. Esto no solo evidencia la falta de preocupación por parte de los ejecutivos de las empresas por mantener una mejora continua para mejorar los productos ofrecidos y, con esto, la experiencia del cliente, sino también la demandante necesidad de mejorar los procesos internos. De esta manera, según la última encuesta aplicada por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), se refiere que el 22% de las MYPES en el sector manufacturero experimenta rechazo de sus productos debido a problemas de calidad. Esta situación trae consigo pérdida de imagen, disminución de clientes y pérdidas económicas considerables [3]. Esto genera gran preocupación, debido a que la gestión de la calidad permite la mejora continua de los procesos productivos y el aprendizaje constante del personal involucrado, garantizando el cumplimiento de los estándares dispuestos.

En la ciudad de Cajamarca, dentro de las MYPES ubicadas alrededor del centro histórico, como sucede en las empresas dedicadas a la creación de objetos realizados por artesanos, donde se identifica que los empleados presentan falta de comprensión y ejecución de los principios de gestión de la calidad, con una escasa responsabilidad en sus tareas, lo que trae como resultado fallas en sus productos terminados. Los trabajadores a cargo de la supervisión de la calidad no realizan sus labores de forma adecuada debido a la falta de políticas de calidad que especifiquen parámetros adecuados de trabajo, lo que conlleva una repercusión negativa en la rentabilidad de cada empresa, generando costos de producción excesivos por pérdida de mermas, devoluciones de productos en mal estado y reprocesos [4].

El estudio se centró en una empresa dedicada a la extracción de carbón, con procesos clave de extracción y distribución de carbón piedra a sus principales clientes, aquellos dedicados a la producción de cal. A lo largo de sus 14 años de operación, la empresa ha buscado una mejora continua en sus procesos, tradicionalmente evaluando errores e implementando mejoras, pero la eficiencia operativa ha resultado ineficiente. El mayor problema identificado es la

presencia de tiempos muertos en la producción y una gestión deficiente de los recursos, incluida la falta de inducción al personal. En el proceso de distribución, se enfrentan problemas como retrasos de entrega, daños durante el transporte, ausencia de supervisión y deficiencias en la cadena de suministro, lo que refleja un bajo rendimiento en la eficiencia operativa. La falta de estadísticas cuantitativas limita la cuantificación de estos problemas y sugiere la necesidad de una investigación más detallada para evaluar el impacto y proponer soluciones específicas.

Dado el contexto descrito anteriormente, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la metodología Lean Six Sigma incrementaría la eficiencia operativa en una empresa dedicada a la extracción de carbón, Cajamarca 2024?

## II. METODOLOGÍA

El estudio es de tipo aplicado, debido a que se enfoca a abordar problemas que surgen en los procesos y se basa en las ciencias formales, por lo que se plantean hipótesis de trabajo para resolver desafíos que enfrenta la sociedad, con el objetivo de mejorar y optimizar el funcionamiento de los procedimientos haciendo uso del conocimiento teórico para ser aplicado en la práctica [5]. De la misma manera, el estudio es de alcance descriptiva donde se busca caracterizar, describir o sintetizar características específicas de un objeto o fenómeno en estudio [6].

Por consiguiente, dentro de la investigación se usó un enfoque cuantitativo ya que permite recopilar y analizar datos numéricos y objetivos, centrada en la recolección de datos cuantificables y medibles. Este enfoque de investigación se debe definir en función de la naturaleza del fenómeno que se pretende estudiar. Siguiendo el ejemplo del autor, si su propósito fuera conocer la cronicidad de los síntomas de un síndrome depresivo mayor, bastaría aplicar una prueba psicológica validada estadísticamente. Este enfoque proporciona una explicación detallada y objetiva del fenómeno, permitiendo comprender sus causas y plantear posibles soluciones.

Del mismo modo, el diseño propuesto fue no experimental, delimitado como un proceso que implica someter a un sistema, objeto o población a determinadas condiciones para observar los efectos o reacciones que generan, es decir, pretende establecer una relación de causa-efecto entre la variable independiente con la dependiente [7]. En el presente estudio, se realiza una de la aplicación del protocolo de investigación, su utilidad se denota por su efectividad para intervenir en determinadas situaciones [8], por lo que se elaboró la matriz de consistencia interna y una matriz de operacionalización de variables.

La población de la investigación son los procesos que componen la empresa, en los periodos julio – diciembre 2023, obteniendo como muestra 2 procesos críticos de operación. De esta manera, en la delimitación de la muestra se tuvo en

cuenta el uso del muestreo no probabilístico, donde las muestras no son aleatorias, es decir que la selección del estudio dependerá de criterios, características que el investigador considere, por lo tanto, puede ser poco confiable debido a que la muestra no tiene un fundamento probabilístico [9].

El procedimiento para la recolección de datos del estudio comenzó con la coordinación de la primera visita con el gerente de la empresa, a través de un acuerdo anticipado para que sean obtenidos los permisos correspondientes para el levantamiento de información relevante de las actividades de la empresa, con el propósito de realizar una verificación del proceso de extracción de carbón y la distribución del producto, donde se hizo uso de la técnica observación. Esta técnica posibilita la captura de la forma de actuar en el instante preciso en que ocurre, por lo que previene errores y se tiene una mayor claridad para el registro de información, pues reduce las desviaciones del entrevistador lo que posibilita acceder a mayor cantidad de datos [10]. Se ejecutó el instrumento guía de observación, donde se registraron datos sobre apariencia del producto, densidad y dureza, funcionamiento de maquinaria, almacenamiento y transporte del producto. Por consiguiente, luego de concretar la visita a la empresa, el encargado facilitó información sobre el desempeño de los colaboradores, nivel de producción, eficiencia en la entrega de productos y rendimiento de los equipos en los periodos Julio 2023 – Diciembre 2023, los cuales fueron organizados haciendo uso de la técnica revisión documental, que permite reunir información sobre un determinado tema, con la finalidad de explorar, opinar y deducir la información de forma adecuada [11], de modo que, se usó una ficha de registro como instrumento, donde se registraron datos sobre la producción, desempeño de los trabajadores y efectividad en la entrega de los productos. Posteriormente, se empleó la técnica encuesta para obtener detalles sobre la satisfacción de los colaboradores, esta debe ser ejecutada por un entrevistador mediante un cuestionario debidamente estructurado, existen diversas formas de aplicarlas, ya sea tradicional o presencial, offline u online [12], para ello, el instrumento utilizado fue el cuestionario, dicho instrumento estuvo conformado por una serie de preguntas correspondientes al tema propuesto de la metodología. En el cuestionario, se utilizó una escala del 1 al 5 para medir el nivel satisfacción de los colaboradores frente a la metodología, con el propósito de definir si la propuesta Lean Six Sigma a través del marco de trabajo DMAIC tiene un efecto considerable en el área productiva de una empresa de extracción de carbón.

Para analizar los datos recopilados, en primera instancia se desarrolló un diagrama de operaciones del proceso de extracción de carbón para evaluar las actividades que lo componen, así como determinar las principales consecuencias del problema de la empresa, es una representación gráfica que está conformada por la operación,

transporte, inspección, demora y almacenaje de un proceso, abarcando información relevante para el estudio, de esta manera propone las etapas de: determinar el producto, anotar las fases del proceso, unir las fases que continúan, medir el recorrido en el transporte y el tiempo de cada actividad. Seguidamente, se elaboró un diagrama de operación de proceso (DOP), que es una representación gráfica que detalla cómo se realiza un procedimiento de todas las operaciones e inspecciones de un proceso, narrando de forma visual para facilitar su identificación y comprensión, asimismo, ayuda a identificar oportunidades de mejora, optimizar la eficiencia del proceso y observar posibles áreas problemáticas. A continuación, se determina la frecuencia de los principales problemas en la extracción de carbón haciendo uso de la herramienta diagrama de Pareto, el cual es una gráfica que presenta de manera organizada la relevancia o magnitud de la frecuencia con la que se producen las causas de un problema, ya que señala cual es el factor que debe atacarse primero a fin de eliminar errores y disminuir los gastos en la organización. Posteriormente, se desarrolló el diagrama de Ishikawa donde se evidenciaron las posibles razones del problema, el cual permite evaluar los factores que influyen en la calidad del producto por medio del análisis causa – efecto, también conocido como “esqueleto de pescado”, en este enfoque, cada espina representa una vía que conduce a la cabeza, destacando el problema que debe examinarse a través de sus causas y sub-causas. Finalmente, se elaboró un diagrama de priorización de causas, para evaluar la causa raíz considerando tanto la importancia del impacto como la viabilidad de abordar cada causa. Este modelo organiza los proyectos al proporcionar columnas y filas que permiten identificar las tareas más relevantes, con el objetivo de estructurar un plan de acción bien definido.

Por último, para evaluar el impacto de la variable de estudio (Lean Six Sigma), se realizó la estimación de los costos reducidos a partir de una mejora en la eficiencia operativa. Para un análisis de la incertidumbre se utilizó una matriz de ganancia. Una matriz de ganancia, en el contexto de análisis de riesgo e incertidumbre, es una herramienta utilizada para evaluar y comparar las posibles ganancias (o pérdidas) asociadas con diferentes opciones o estrategias de decisión bajo varios escenarios futuros. Cada celda de la matriz representa el resultado financiero estimado (ganancia o pérdida) de adoptar una determinada estrategia en el contexto de un escenario específico. Estos escenarios reflejan diferentes condiciones o eventos futuros cuyos resultados son inciertos. Una vez que la matriz se elaboró, se evaluaron las herramientas mediante el criterio de Laplace. El Criterio de Laplace es un método de toma de decisiones bajo incertidumbre que se basa en el principio de insuficiencia de razón o igual probabilidad. Este criterio propone que, en la ausencia de información que indique lo contrario, todas las posibles ocurrencias (o estados de la naturaleza) deberían considerarse igualmente probables. El Criterio de Laplace se utiliza para evaluar varias opciones de decisión calculando el

promedio de los resultados (ganancias o pérdidas) asociados con cada opción, asumiendo que cada resultado posible tiene la misma probabilidad de ocurrir. Todo este análisis se tabuló en una matriz de evaluación de escenarios.

Adicionalmente, se consideró un análisis de sensibilidad. Un análisis de sensibilidad es una técnica utilizada en ingeniería, economía y en diversos campos de la toma de decisiones para investigar cómo diferentes valores de una o más variables de entrada en un modelo afectan a sus resultados. Este tipo de análisis es especialmente útil en situaciones donde hay incertidumbre sobre los supuestos fundamentales del modelo, incluyendo la incertidumbre en las proyecciones de costos, beneficios, y otros elementos críticos para la toma de decisiones. En el presente estudio se evaluaron diversos escenarios a partir de la variación de la inversión propuesta en herramientas de Lean Six Sigma y de la reducción estimada de los costos. Todas las estimaciones se diagramaron en un gráfico de superficie de 3 ejes.

### III. RESULTADOS

Se inició con el diagnóstico de la situación actual de la empresa considerando un flujograma del proceso para describir el proceso de extracción de carbón, desde la exploración de yacimientos de carbón hasta el almacenamiento temporal del producto. Al analizar detenidamente el proceso de extracción de carbón se determinó una falta de sincronización en la coordinación entre las fases de perforación y transporte, generando tiempos muertos y retrasos en la cadena de suministro, además de un ineficiente aprovechamiento de los recursos que dispone la empresa para que los trabajadores logren una productividad eficiente.

Por consiguiente, fueron evaluadas las principales causas de las fallas en los productos, procesos y estados en las entregas, tales como: deficiencia en la gestión de inventario, desperdicio de material, falta de control de calidad, baja motivación y compromiso del personal, incorrecto uso de recursos, asimismo, el mantenimiento de las máquinas conllevando a demasiados costos; denotando un bajo nivel de eficiencia operacional. Para determinar a mayor detalle se hizo uso de la herramienta Pareto como se muestra en la Figura 1, en base a la información de los últimos seis meses, donde se pudo apreciar que se presentaron demasiados retrasos y, a su vez se incumplieron algunos pedidos de los clientes, provocando insatisfacción, debido a los problemas ocasionados por: Grandes cantidades de productos con defectos, tiempos muertos en reprocesos y actividades inadecuadas en la verificación de la calidad del producto, esas han sido causas más relevantes encontradas. A través de esta herramienta se logró identificar las principales causas que reinciden en el último semestre del año, definiéndolas como causas principales, ya que contribuyen de manera

significativa en el nivel obtenido de eficiencia operativa.

Luego de llevar a cabo el diagrama de Pareto, haciendo uso del software Minitab 18 se obtuvo como resultado que los retrasos en la entrega de productos representan el 19.6% con 71 de frecuencia o impacto del total, a su vez las ineficiencias dentro de la planificación ocupan el 18.5% con un impacto de 67 incidencias, la falta de capacitación agrupa el 14.4% con una frecuencia de 52 incidencias, la falta de estandarización de procesos ocupa el cuarto lugar con un 13.8% y un impacto de 50 veces, los problemas en la cadena de suministros se ven reflejados con el 13.5% y una frecuencia de 49 incidencias, el mantenimiento de los equipos representa el 10.2% del total y una frecuencia de 37 veces en el semestre, finalmente, otras causas relacionadas a la eficiencia operativa en la empresa representa el 9.9% del total con una frecuencia de 36 veces en el tiempo estimado de estudio. Por lo que se evidencia que el problema proviene de las dos primeras causas con mayor número de incidencias, siendo estas descritas al principio del párrafo, son aquellas donde se realizó el mayor énfasis de investigación para la propuesta de mejora.

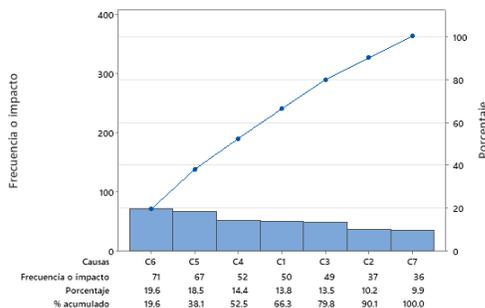


Fig. 1 Diagrama de Pareto para la identificación de problemáticas en una empresa de extracción de carbón

Seguidamente, se elaboró el diagrama Ishikawa (Figura 2) para identificar las causas que se presentan dentro del proceso operativo de la empresa de extracción de carbón que tiene un impacto negativo en la eficiencia, por lo que fueron analizadas las principales razones tomando en cuenta cinco categorías: proceso, equipos, métodos, personas y materiales. En primera instancia, se determinó que estas tienen una relación respecto a la estandarización de procesos, lo que podría influir en la efectividad, seguridad y calidad de las operaciones provocando ausencia de la mejora continua, asimismo referente a los equipos se denota un inadecuado mantenimiento, tiempos muertos de inactividad, bajo nivel de seguridad, provocando fallas de las herramientas por el desgaste y corta vida útil de los mismos.

Referente a la categoría proceso, se identificó que no hay una supervisión adecuada en la calidad del producto, problemas de coordinación en las diferentes etapas del proceso e ineficiencias en los métodos de extracción. Lo mencionado anteriormente, resulta de una evaluación donde se detectó que la ausencia de programas de capacitación relacionados a los procedimientos específicos de extracción y procesamiento de carbón afecta significativamente la eficiencia operativa, además, se denotan bajo control de inventarios provocando contratiempos en la entrega de pedidos, ocasionando costos de almacenamiento, deterioro de los productos almacenados y retraso en las entregas a los clientes.

El análisis detallado de cada categoría en el diagrama Ishikawa permitió una comprensión profunda de las interrelaciones entre las variables identificadas, ofreciendo valiosa información para la implementación de acciones correctivas y preventivas con el objetivo de mitigar o eliminar las causas subyacentes al problema investigado, lo anteriormente descrito se puede ver reflejado en la Figura 2.

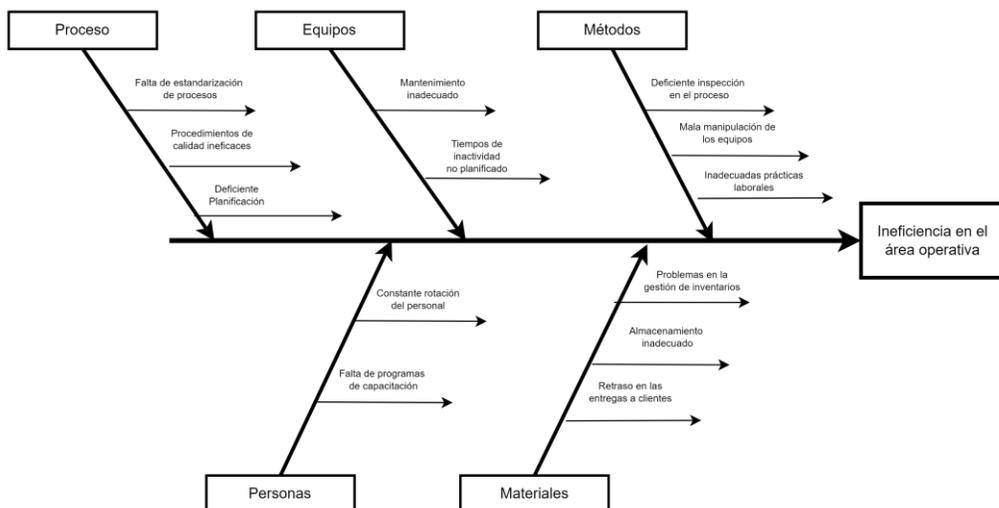


Fig. 2 Diagrama de Causa - Efecto para identificar las causas asociadas a la baja eficiencia operativa en una empresa de extracción de carbón

Por consiguiente, en la Tabla I se analizaron las horas trabajadas semanalmente en la empresa establecidas con total de 96, es decir, 16 horas al día de lunes a sábado, donde se realizó una recopilación y examinación del tiempo utilizado para la producción por periodos del mes de julio al mes de diciembre del año 2023, haciendo uso de la ficha de registro de la producción semanal de unidades, donde cada unidad representa un saco de 50 kilogramos tanto de carbón piedra como el cisco de carbón (también denominado carbón en polvo), se visualiza que el mes con mayor cantidad de producción fue el mes de diciembre con 4207 unidades producidas, en consecutiva el mes de octubre con 2682 unidades producidas, seguido del mes de setiembre con 2653 unidades en el curso del mes, tal como se muestra en la Tabla 3. Asimismo, se determinó la cantidad de horas productivas por semana y en consecuencia el porcentaje promedio de producción en el transcurso de los seis meses hallado fue 87.54% de productividad y 12.46% de tiempo no utilizado, considerado como tiempo improductivo generado por lo tiempos muertos ocasionado por condiciones ambientales, mantenimiento de equipos, paradas de emergencia como accidentes o riesgos para la seguridad del personal, retrasos de transporte del carbón y el agotamiento del yacimiento o problemas en la planificación.

**TABLA I**  
EFICIENCIA Y EFICACIA EN UNA EMPRESA DE EXTRACCIÓN DE CARBÓN

Semana	Unidades defectuosas	Eficacia	Tiempo empleado	Tiempo real utilizado	Eficiencia
1	10	98.95%	95.2	79.5	83.51%
2	15	96.71%	94.8	77.6	81.86%
3	26	88.65%	93.8	82.4	87.85%
4	28	92.49%	96	86.4	90.00%
5	0	100.00%	95	87.4	92.00%
6	3	99.59%	94.1	87	92.45%
7	25	97.22%	93.4	82	87.79%
8	10	98.88%	94.7	86.2	91.02%
9	4	99.46%	95.4	88.4	92.66%
10	10	97.98%	95.41	85.7	89.82%
11	10	96.30%	89.5	81.6	91.17%
12	20	94.44%	93	82.4	88.60%
13	10	98.73%	94	81.4	86.60%
14	19	97.53%	95.2	86.3	90.65%
15	11	98.53%	94.8	82	86.50%
16	29	95.04%	93.8	89	94.88%
17	14	97.58%	96	87	90.63%
18	30	96.59%	95.4	71	74.42%

19	9	98.94%	95.7	82.6	86.31%
20	13	97.29%	95.2	61.4	64.50%
21	14	95.30%	89.9	76.4	84.98%
22	33	96.69%	86.7	77.9	89.85%
23	12	98.60%	88.2	87	98.64%
24	16	98.19%	86.8	82	94.47%
25	14	98.85%	93.5	86.2	92.19%
26	9	97.69%	94.2	88.8	94.27%
27	9	98.95%	96.5	85.7	88.81%

Luego de haber analizado la problemática de la empresa y, con el objetivo de incrementar la eficiencia operativa haciendo uso de la metodología Lean Six Sigma, se plantearon herramientas de mejora que se presentan a continuación en la Tabla II, donde se exponen los principales problemas encontrados, por lo que se proponen herramientas de Lean Six Sigma como mejora para cada punto conflictivo encontrado en la empresa de extracción de carbón.

**TABLA II**  
HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA PARA EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN UNA EMPRESA DE EXTRACCIÓN DE CARBÓN

Problema Identificado	Herramienta Lean Six Sigma
Falta de visibilidad y retrasos en el proceso de extracción, demoras en el traslado de productos	Mapa de procesos, SIPOC
Demoras en transporte y distribución; mantenimiento deficiente de equipos	Metodología de las 5S, AMEF, QFD
Bajo nivel de capacidad del proceso de extracción del carbón	Análisis de capacidad del proceso

A continuación, se elaboró el mapeo de procesos, una herramienta que permite identificar las actividades de un proceso hasta la entrega del producto al cliente final es el diagrama de procesos (Figura 3). Este proporcionó una visión detallada de cómo funcionan las actividades dentro de la organización, en primer lugar, los procesos estratégicos se centran en la planificación a largo plazo donde se puede identificar áreas de gestión, tales como la identificación de oportunidades, evaluación de riesgos y planes de mitigación. Dentro de los procesos misionales se identificaron aquellos que permiten cumplir con la extracción eficiente y sostenible de carbón donde pueden ser aplicados planes de cumplimiento de estándares de calidad y seguridad. En tercer lugar, se tuvo en consideración los procesos operativos encargados de la ejecución diaria del área de ejecución mediante sistemas, medidas y programas de gestión y protocolos de seguridad laboral.

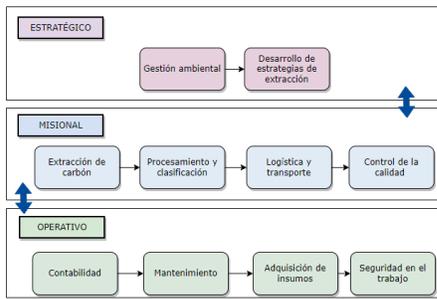


Fig. 3 Mapeo de procesos de una empresa de extracción de carbón

A continuación, se presenta el diagrama SIPOC (Figura 4) con el objetivo de analizar paso a paso el proceso de extracción de carbón. En esta instancia, se aborda de forma organizada el proceso de transporte de carbón, donde se identifican proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes. En primer lugar, se organizó el proceso de transporte de carbón, identificando proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes. La propuesta de mejora se centró en abordar los problemas y medir el impacto de estos en los resultados del proceso. Por lo que se propusieron acciones de mejora para optimizar la programación de rutas, implementando métodos eficientes de carga y descarga, con el objetivo de reducir en un 20% los tiempos de espera. Además, se buscó mejorar la programación de rutas en un 20%, con el fin de reducir tiempos y mejorar la eficiencia en la entrega de productos. También se propuso implementar tecnologías más eficientes para optimizar el proceso de clasificación en un 25%, y establecer protocolos de seguridad para garantizar la calidad del carbón en un 20%. Esto se hizo con el propósito de lograr un impacto positivo en las áreas de producción, minimizando el tiempo de inactividad en un 25% para mejorar la productividad, optimizar recursos y evitar pérdida de ingresos. Todo esto conlleva a aprovechar de manera más eficiente los recursos como la maquinaria, espacio y personal, permitiendo tener una gestión más efectiva y rentable. Finalmente, se debe perfeccionar con exactitud los informes de mantenimiento en un 30%, con el objetivo de prevenir fallas en las instalaciones y equipos, con la finalidad de mejorar la eficiencia y la productividad en la empresa de extracción de carbón.

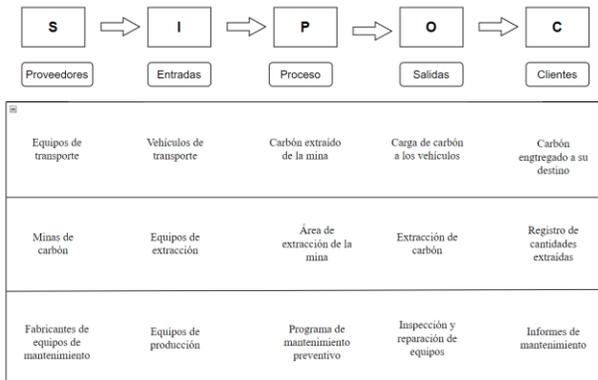


Fig. 4 Diagrama SIPOC de una empresa de extracción de carbón

Seguidamente, se propuso la metodología de las 5S (Figura 5) enfocada principalmente al traslado de productos, constituida por cinco fases: Inicialmente se clasifica y elimina todo lo innecesario en el área de almacén, por lo que se realizaron una serie de acciones: Revisión y organización de los equipos, herramientas y suministros utilizados en la extracción y procesamiento del carbón, pues cada una de estas permitirá tener un mejor control y visualización del ambiente. Fueron descritos los equipos necesarios e innecesarios dentro del área de trabajo a través de un diagrama de flujo para la selección de los equipos. En segundo lugar, ordenar, localizando lo primordial en el área de trabajo y sea de fácil acceso, por ello se tiene que organizar el espacio de almacenamiento de manera eficiente, teniendo un lugar específico para cada producto. En la etapa de limpieza, se enfoca en mantener un entorno limpio y ordenado, lo cual se hará posible mediante acciones como asear las áreas de trabajo, equipos y herramientas eliminando residuos y productos en mal estado para mantener un entorno seguro y eficiente. En la etapa de estandarizar, busca mantener el área de trabajo en condiciones óptimas, es por lo que para lograr lo mencionado se busca estandarizar los procedimientos y prácticas para mantener los niveles de clasificación, orden y limpieza en la empresa de extracción de carbón, esto podría incluir la implementación de estándares para la organización de herramientas y la limpieza de equipos. Por último, en la fase de mantener, se debe implementar la metodología ya que de esto dependerá el buen funcionamiento de la empresa de extracción de carbón, por lo tanto, se tendrá que seguir una serie de pasos como los hábitos y rutinas que garanticen la sostenibilidad de los cambios realizados, buscando la participación activa de los colaboradores y la creación de una cultura que valore la organización, el orden y la limpieza, con el fin de alcanzar la mejora continua en cada uno de los procesos.

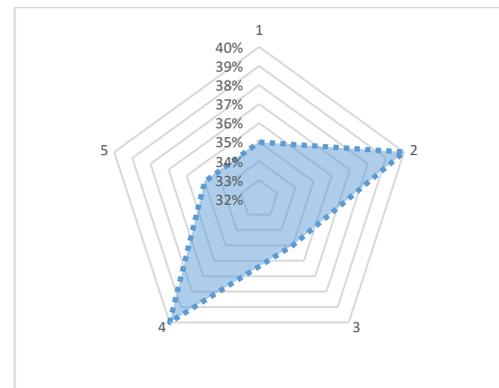


Fig. 5 Evaluación de la metodología 5S en una empresa de extracción de carbón

Posteriormente, se elaboró la matriz AMEF que puede ser visualizada en la Tabla III, una herramienta que permite identificar, evaluar y priorizar posibles fallas en un proceso, así como determinar las consecuencias y la gravedad de estos problemas. Al aplicar el análisis de Modo y Efecto de Falla

en la empresa de extracción de carbón, se logró identificar fallas en problemas durante la carga y descarga del material. Para esto, se tiene en cuenta al proceso que tenga mayor puntaje de NPR (número prioritario de riesgo). Después de realizar detenidamente los procesos en la extracción de carbón, transporte, procesamiento/clasificación, embarque y distribución, se aplicó la herramienta AMEF con el objetivo de detectar y evaluar posibles fallos o defectos antes de que afecten negativamente a la empresa. Como se observa en la tabla 10, se identificó que el mayor NPR es el proceso de embarque y distribución. Esto indica que el proceso experimenta problemas más significativos en cuanto al retraso en el proceso de carga, con un riesgo total de 96, principalmente debido a que se tiene fallas en la maquinaria, lo que genera incumplimiento en los plazos de entrega.

Asimismo, también se presentan accidentes durante el transporte con un índice de riesgo de 112, al no contar con personal altamente capacitado, sistema de carga defectuoso, lo que ocasiona lesiones en los trabajadores, pérdida de material y paro en el transporte de extracción de carbón. Ante estos problemas, se recomienda realizar programas de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia operativa y así promover un entorno de trabajo más seguro y productivo, capacitar a los conductores para una mejor conducción y así tener un impacto positivo en la seguridad vial, como también se sugiere utilizar tecnología de seguimiento en tiempo real para optimizar la eficiencia operativa, la seguridad, la experiencia del cliente y la capacidad de la toma de decisiones en la organización. Esto beneficiará tanto a los trabajadores como a la empresa.

TABLA III  
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) EN UNA EMPRESA DE EXTRACCIÓN DE CARBÓN

PROCESO	MODO DE FALLO	EFECTO	G	CAUSA	O	CONTROLES	D	NPR	ACCIONES	G	O	D	NPR
EXTRACCIÓN DE CARBÓN	Fallas en la maquinaria	Detención del proceso de extracción	7	Desgaste o mal mantenimiento de la maquinaria	4	Programa de mantenimiento regular	3	84	Realizar mantenimiento preventivo y capacitar al personal	7	4	3	84
	Accidentes en el sitio	Lesiones en los trabajadores, daños en la maquinaria, paro de la producción	6	Condiciones peligrosas, falta de entrenamiento, falla de equipo	4	Equipos de protección personal (EPP), Inspecciones del sitio	3	72	Mejorar la seguridad del sitio y entrenamiento del personal	6	4	3	72
TRANSPORTE DE CARBÓN	Retrasos en el transporte	Interrupción de proceso	5	Desgaste del transportador, falta de mantenimiento	3	Mantenimiento preventivo	4	100	Mejorar el programa de mantenimiento	5	3	4	60
	Problemas durante la carga	Perdida de material	7	Sistema de carga defectuoso	3	Inspecciones antes de la carga	4	96	Mejorar el sistema de carga	7	3	4	84
PROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN	Mal funcionamiento de equipos	Pérdida de calidad de carbón	5	Desgaste de los equipos	4	Mantenimiento preventivo de los equipos	3	60	Implementar programas de mantenimiento y capacitar al personal	5	4	3	60
	Contaminación del carbón por material no deseado	Pérdida de producto	7	Ingreso de materiales no deseados durante el almacenamiento.	4	Coberturas para el almacenamiento	3	84	Realizar inspecciones regulares	7	4	3	84
EMBARQUE Y DISTRIBUCIÓN	Retrasos en el proceso de carga	Incumplimiento en los plazos de entrega	8	Fallos en la maquinaria de carga	4	Mantenimiento programado de la maquinaria	3	96	Implementar un programa de mantenimiento	8	4	3	96
	Accidentes durante el transporte	Pérdida de material	7	Sistema de carga defectuoso	4	Conductores capacitados	4	112	Mejorar la conducción y utilizar tecnología de seguimiento en tiempo real	7	4	4	112

Luego, se aplicó la metodología del Despliegue de la Función de la Calidad, conocida por sus siglas QFD, donde las necesidades y expectativas del proceso de mantenimiento de equipos fueron traducidas en propuestas de mejora y priorización de acciones. Como primera medida, se

identificaron 7 requerimientos en el proceso, lo que llevó a establecer 7 características técnicas que permitirían mejorar según su nivel de impacto. A cada una de estas características se les asignó un puntaje ponderado para luego evaluar cómo contribuyen a mejorar y desarrollar estrategias de

mantenimiento más efectivas en los equipos de extracción de carbón, en consonancia con las necesidades específicas de la empresa, tal como se muestra en la Figura 6. Seguidamente, se obtuvo la importancia absoluta y relativa la primera indica la prioridad de cada característica técnica y su relación con las necesidades, el valor más alto obtenido fue para la mejora propuesta en la capacitación del personal encargado del mantenimiento, con un puntaje ponderado de 15, seguido por el mantenimiento preventivo programado con un puntaje de 14, lo cual indicaba que eran los aspectos más significativos para el proceso. Por otro lado, la importancia relativa, derivada de la anterior, permitía establecer la prioridad entre las demás características, con un puntaje de 2 y 1.87 respectivamente. Esto conllevó a darles mayor importancia para asignar mejoras, como, por ejemplo, identificar y abordar los problemas en los equipos antes de que ocurrieran para reducir los tiempos de inactividad, evitando reparaciones costosas y prolongando la vida útil de los mismos, mediante la estandarización de los procedimientos de mantenimiento que facilitarían su ejecución, esto se basaba en un programa de mantenimiento preventivo de las herramientas que se utilizaban diariamente para llevar a cabo la extracción de carbón. En cuanto a la capacitación del personal de mantenimiento, se propuso sesiones para mejorar la eficiencia en la detección y solución de incidentes, buscando reducir los costos de reprocesos y garantizando que estuvieran al tanto de los procedimientos de seguridad y las mejores prácticas.

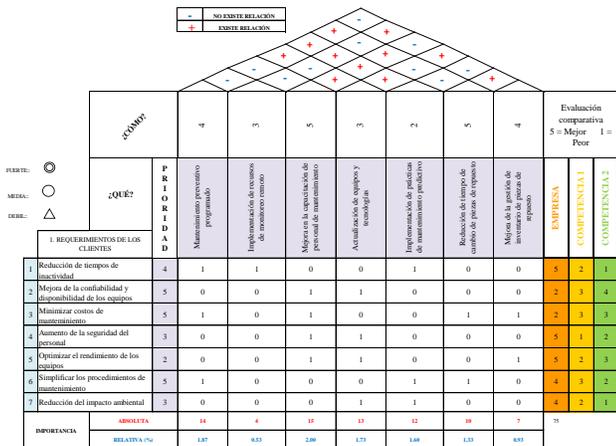


Fig. 6 Metodología del Despliegue de la Función de la Calidad (QFD) en una empresa de extracción de carbón

Después de la recopilación de información acerca del proceso productivo de la empresa de extracción de carbón en los periodos Julio – diciembre 2023, la muestra de cantidades producidas durante 27 semanas y de estas las que se encontraron con defectos, estos se evidenciaron en las unidades producidas debido a problemas en la dureza de la piedra de carbón, su capacidad para ser molida o triturada, su nivel de cantidad de polvo comparado con la cantidad de carbón en piedra. Por consiguiente, mediante el uso del software Minitab, se halló el nivel sigma actual de la empresa

tal como se visualiza en la Figura 7, siguiendo el procedimiento de hallar 403 unidades defectuosas de 17577 en el periodo, un índice de capacidad (Cpk) de 0.12 y capacidad del proceso (Cp) de 0.34, por lo que el nivel de sigma (Z) inicial encontrado fue de 1.46, considerado como nivel de calidad antes de aplicar la metodología Lean Six Sigma, se obtuvo como resultado un DPMO de 22666.17, lo que representó la probabilidad de cantidad de unidades con fallas en el proceso de extracción de carbón, es decir que por cada millón de unidades producidas se tiene la capacidad de generar 22666.17 fallas y en el caso de la capacidad de proceso (Cp) si esta es menor a 0.67 nos da a entender que el proceso no está trabajando de forma adecuada, siendo considerado como un proceso incapaz de cumplir con los requerimientos. Para finalizar, se calculó el nivel de eficiencia operativa en el periodo, mediante el nivel sigma encontrado se determinó un 83.84% de eficiencia, representando el nivel de rendimiento del proceso en nivel moderado, pero aún incapaz en términos del uso de recursos con un margen de mejora en algunas áreas del proceso para incrementar aún más la eficiencia, este puede ser alcanzable a través de la aplicación de la metodología propuesta un seguimiento, un seguimiento constante y el establecimiento de un sistema de control en parámetros de la calidad del carbón extraído, seguridad del proceso y el impacto en el ambiente.

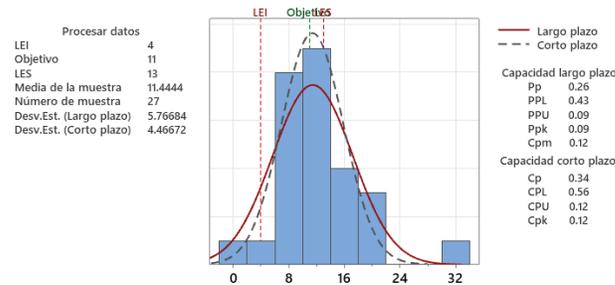


Fig. 7 Análisis de la capacidad del proceso en una empresa de extracción de carbón

Una vez que se diseñaron las herramientas de Lean Six Sigma, se planteó la necesidad de comprobar su efecto sobre la eficiencia operativa y de esa manera asegurar su viabilidad. Para ello se determinó un nivel de inversión en las herramientas propuestas y se calculó una reducción de costos por incremento en la eficiencia operativa. A continuación, se realiza una matriz de ganancias como se muestra en la Tabla IV, haciendo uso de datos del presupuesto total de las herramientas dispuestas a ser implementadas y la reducción de costos que estas pretenden realizar en la empresa, en la matriz obtenida se puede visualizar la evaluación de tres escenarios: Las herramientas que no tiene impacto sobre los costos (Pesimista), las que tienen un impacto bajo sobre los costos (Moderado), los que tienen impacto razonable sobre los costos (Optimista). Posteriormente, se aplicó el criterio de Laplace donde primero se determinó la probabilidad de cada resultado posible y se asignó la probabilidad de cada

resultado de 1/3, denotando que deberían ser aplicadas todas las herramientas debido a los resultados encontrados como positivos. De lo que se obtiene también que la herramienta Six Sigma tiene el valor esperado por lo que tiene la mayor probabilidad de ser la preferida para ser usada entre las demás para incrementar la eficiencia operativa en la empresa.

TABLA IV  
EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE RESPECTO A LAS HERRAMIENTAS  
LEAN SIX SIGMA

	Impacto negativo	Impacto moderado	Impacto importante	Criterio de Laplace
5S	-328.42	170.53	341.05	280.00
AMEF	-352.63	180.53	361.05	298.07
SIPOC	-322.37	149.08	298.16	256.54
QFD	-328.68	170.00	340.00	279.56
SIX SIGMA	-353.42	199.08	398.16	316.89

Nota: costos expresados en dólares americanos

De la misma manera, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para detallar cómo la inversión en herramientas Lean Logistics influye en la reducción de costos por incremento de la eficiencia operativa, bajo distintos factores de efectividad. Con un incremento en el factor de efectividad, se observa un aumento proporcional en la reducción de costos, destacando que una inversión con un factor de 0.7 podría llevar a ahorros de \$1217, mientras que con un factor de 1.3, los ahorros podrían ascender hasta \$3271 para la misma inversión inicial. Esto ilustra que al aumentar la efectividad de la inversión de 0.7 a 1.3, los ahorros potenciales casi se triplican, evidenciando la importancia de optimizar tanto la cantidad como la eficiencia de la inversión. Asimismo, para un factor de efectividad constante, el aumento en el nivel de inversión también resulta en mayores ahorros operativos, demostrando la relación directa entre la inversión aplicada y el beneficio económico obtenido. Por ejemplo, con un factor de efectividad de 1, la reducción de costos por mayor eficiencia varía desde \$711 hasta \$2765, dependiendo del nivel de inversión.

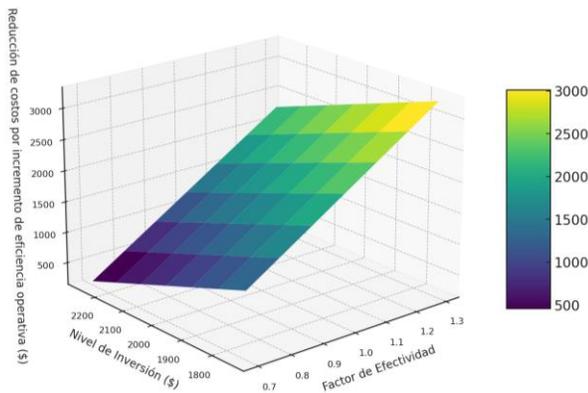


Fig. 8 Análisis de sensibilidad para la relación entre la inversión en Lean Six Sigma y la reducción de costos por incremento de la eficiencia

## V. CONCLUSIONES

El estudio concluye que la implementación de Lean Six Sigma en una compañía de extracción de carbón en Cajamarca puede aumentar significativamente la eficiencia operativa. A través de análisis detallados con AMEF, análisis de sensibilidad y otras herramientas Lean Six Sigma, demuestra una alta probabilidad de beneficios económicos, incluso en escenarios adversos. La aplicación de la metodología muestra la posibilidad de triplicar los ahorros con una mayor efectividad de inversión, subrayando la importancia de optimizar tanto la magnitud como la eficiencia de la inversión. Los hallazgos promueven Lean Six Sigma como un enfoque sólido para mejorar los procesos operativos, destacando la capacidad de la metodología para impulsar mejoras sustanciales en eficiencia y productividad en el sector de minería de carbón.

## REFERENCIAS

- [1] C. Santelices, R. Herrera, and F. Muñoz, "Problemas en la gestión de calidad e inspección técnica de obra," *Revista ingeniería de construcción*, pp. 242-251, 2019.
- [2] E. Lizaraburu, "La gestión de la calidad en Perú: un estudio de la norma ISO 9001, sus beneficios y los principales cambios en la versión 2015," *Revista Universidad y Empresa*, vol. 18, pp. 33-54, 2016.
- [3] M. De La Vega, "Calidad, ingrediente que las MYPES necesitan para crecer y exportar," *El Peruano*, 2023. <https://www.elperuano.pe/noticia/207740-calidad-ingrediente-que-las-mypes-necesitan-para-crecer-y-exportar>
- [4] D. Cerna and M. Ríos, "La gestión de la calidad y la rentabilidad en las empresas del sector artesanal en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca, año 2020," *Repositorio UPAGU*, 2021.
- [5] J. Lozada, "Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria," *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, pp. 47-50, 2014.
- [6] V. Díaz y A. Calzadilla, "Artículos científicos, tipos de investigación y productividad científica en las Ciencias de la salud," *Revista Científica de la salud*, pp. 115-121, 2016.
- [7] G. Guevara, A. Verdesoto, y N. Castro, "Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)," *Recimundo - Revista Científica Mundo de la Investigación*, pp. 163-173, 2020.
- [8] C. Ramos, "DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL," *CienciAmérica*, 2021. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf>
- [9] T. Otzen y C. Manterola, "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio," 2017. [Online]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- [10] N. Piza, F. Amaiquema, y B. Gina, "Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias," 2019.
- [11] W. Núñez y L. Villamil, "Revisión documental: El estado actual de las investigaciones desarrolladas sobre empatía en niñas y niños en las edades comprendidas entre los 6 a 12 años de edad surgidas en países latinoamericanos de habla hispana, entre los años 2010 y 2017," 2017.
- [12] A. Cisneros, A. Guevara, J. Urdánigo, y J. Garcés, "Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia," *Dominio de las ciencias*, pp. 1165-1185, 2022.