

Optimización de Procesos Operativos en Planta Maceo (CEMEX S.A.) a través de  
Mejora Continua y Excelencia Operacional

Santiago Villamizar Pinto

Trabajo de grado presentado para optar al título de Economista

Director

Alejandro Acevedo Amorocho

PhD. Economía y Finanzas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Humanas

Escuela de Economía y Administración

Bucaramanga

2026

## **DEDICATORIA**

A Shirley Pinto, Fausto Villamizar, Hermes Villamizar, Ligia Silva y Orlando Villamizar por permitirme cumplir mi sueño.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar con éxito esta etapa de mi vida. A mi madre, por ser ejemplo de esfuerzo y dedicación, y enseñarme que los sueños sí se cumplen con trabajo constante. A mi padre por sus consejos y palabras de aliento. A mis abuelos y a mi tío Orlando, por su apoyo incondicional y por estar siempre presentes en mi camino.

A Luisa Fernanda Rodríguez, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas en una compañía tan prestigiosa. A todo el equipo de Planta Maceo, por recibirme con los brazos abiertos, por su disposición, y por permitirme adquirir valiosos aprendizajes en esta experiencia.

A la Universidad Industrial de Santander, por demostrar que la educación pública transforma vidas. Gracias por formar profesionales con conciencia crítica, compromiso social y la convicción de que el conocimiento es un derecho, no un privilegio.

A mis docentes, con especial agradecimiento a Alejandro Acevedo Amorocho, Josefa Ramoni, Héctor Romero, Héctor López y Mauricio Villamizar. Agradezco a Dios por ponerme en el camino de quienes, a través del pensamiento crítico, me ayudaron a formarme como un profesional íntegro, con conocimientos y valores. Gracias por su dedicación y vocación para hacer de este mundo un lugar mejor a través de la educación.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	7
2.	ABSTRACT .....	9
3.	INTRODUCCIÓN .....	11
4.	CONTEXTUALIZACIÓN .....	12
5.	JUSTIFICACIÓN .....	15
6.	OBJETIVOS .....	16
	6.1. Objetivo General .....	16
	6.2. Objetivos Específicos .....	16
7.	ALCANCE DE LA PRACTICA .....	17
8.	CARACTERIZACIÓN DE LA COMPAÑÍA .....	19
	8.1. Razón Social de la Compañía .....	19
	8.2. Objeto Social .....	19
	8.3. Misión & Visión .....	19
	8.3.1. Misión .....	19
	8.3.2. Visión .....	19
	8.4. Contexto en Colombia y Planta Maceo .....	19
	8.5. Área de Excelencia Operacional .....	20
9.	RELEVANCIA DE LA PRACTICA .....	21
	9.1. Conexión con la Práctica Profesional .....	21
10.	MARCO TEORICO .....	22
	10.1. Excelencia Operacional y Mejora Continua .....	23
	10.2. Metodologías de Mejora Continua .....	23

10.3.	Comparación de Enfoques: Kaizen, Lean y Six Sigma.....	25
10.4.	Limitaciones en Latinoamérica .....	26
10.5.	Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Industria Cementera.....	26
10.6.	Desafíos Institucionales y Humanos en la Excelencia Operacional.....	27
10.7.	Vacíos de Investigación y Relevancia para el Caso de Planta Maceo.....	28
11.	METODOLOGÍA.....	29
11.1.	Enfoque y Tipo de Investigación.....	29
11.2.	Población y Muestra .....	30
11.2.1.	Criterios para el Tamaño de la Muestra.....	30
11.2.2.	Pruebas Estadísticas y Validación .....	31
11.2.3.	Planta para Asegurar la Replicabilidad .....	32
11.3.	Alcance Temporal y Espacial .....	33
11.4.	Variables, Indicadores y Métodos de Análisis. ....	33
11.5.	Técnicas de Análisis de Datos .....	34
11.6.	Fases Metodológicas .....	34
11.7.	Limitaciones Metodológicas .....	36
11.8.	Consideraciones Éticas .....	36
11.9.	Impacto Económico.....	36
12.	PRESUPUESTO.....	37
13.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	40
14.	RESULTADOS ESPERADOS .....	43
14.1.	Dimensión Operativa.....	43
14.2.	Dimensión Económica.....	43
14.3.	Dimensión Organizacional .....	44

14.4.	Impacto en Indicadores Macro y Rentabilidad.....	44
14.5.	Conclusión.....	45
15.	RESULTADOS .....	46
15.1.	Dimensión Económica – Ahorro y Análisis de Costo Beneficio. ....	46
15.2.	Dimensión Operativa – Consumo de ACPM y Continuidad Productiva. ....	47
15.3.	Dimensión Organizacional – 5S, Standard Works y Cultura. ....	48
15.4.	Impacto en Indicadores Macro y Rentabilidad.....	49
16.	CONCLUSIONES.....	50
17.	RECOMENDACIONES .....	52
17.1.	Consolidar un sistema de monitoreo permanente del consumo de ACPM y energía. ....	52
17.2.	Estandarizar la metodología de mejora continua en toda la planta. ....	52
17.3.	Mantener la cultura 5S mediante auditorías periódicas.....	52
17.4.	Ampliar la capacitación en herramientas digitales y analíticas.....	52
17.5.	Extender la metodología a otras plantas o procesos.....	53
17.6.	Fortalecer la comunicación entre áreas operativas y de soporte. ....	53
17.7.	Incorporar indicadores de sostenibilidad ambiental.....	53
17.8.	Garantizar la continuidad del Proyecto. ....	53
18.	ANEXOS .....	54
19.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

## 1. RESUMEN

**Título:** Optimización de Procesos Operativos en Planta Maceo (CEMEX S.A.) a través de Mejora Continua y Excelencia Operacional.

**Autor:** Santiago Villamizar Pinto

**Palabras Clave:** Mejora Continua, Kaizen, Excelencia Operacional, Planta Maceo, eficiencia.

**Descripción:**

El presente trabajo de grado se desarrolla en el marco de la práctica profesional en Planta Maceo de CEMEX Colombia y tiene como propósito analizar cómo la aplicación de metodologías de excelencia operacional contribuye a la eficiencia productiva y económica de la organización.

La metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo de carácter aplicado, centrado en procesos críticos de la planta. Se emplearon herramientas como la actualización de Standard Works (SW), el control del consumo de ACPM en equipos, el registro del agua captada y bombeada en la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI) y la aplicación de la metodología 5S en áreas críticas. Los indicadores se clasifican en tres dimensiones: operativa, económica y organizacional, soportadas en técnicas como correlaciones entre consumo de ACPM y producción de clínker, benchmarking interno de resultados 5S y análisis costo-beneficio de SW.

Entre los beneficios esperados se encuentra la disminución de reprocesos documentales en un 10% y un ahorro estimado de \$150 millones COP en ACPM, reducción de sobrecostos energéticos en bombeo de agua por \$25 millones COP y liberación de horas-hombre por \$15 millones COP a partir de la disciplina operativa con 5S. En conjunto, los

beneficios superan los \$230 millones COP, frente a costos de implementación menores a \$20 millones.

Este trabajo aporta evidencia aplicada sobre la excelencia operacional en la industria cementera, mostrando cómo la integración de metodologías de mejora continua fortalece la eficiencia, la competitividad y la sostenibilidad en contextos industriales colombianos.

## 2. ABSTRACT

**Title:** Optimization of Operational Processes at Maceo Plant (CEMEX S.A.) through Continuous Improvement and Operational Excellence.

**Author:** Santiago Villamizar Pinto

**Keywords:** Continuous improvement, Kaizen, Operational Excellence, Maceo Plant, Efficiency.

### **Description:**

This thesis was developed within the framework of professional practice at CEMEX Colombia's Maceo Plant and aims to analyze how the application of operational excellence methodologies contributes to the organization's productive and economic efficiency.

The methodology is based on an applied quantitative approach, focusing on critical plant processes. Tools such as Standard Works (SW) updates, control of diesel fuel consumption in equipment, recording of water collected and pumped at the Industrial Water Treatment Plant (PTAI), and application of the 5S methodology in critical areas were used. The indicators are classified into three dimensions: operational, economic, and organizational, supported by techniques such as correlations between ACPM consumption and clinker production, internal benchmarking of 5S results, and SW cost-benefit analysis.

Expected benefits include a 10% reduction in document reprocessing and an estimated savings of COP\$150 million in ACPM, a reduction in energy cost overruns in water pumping of COP\$25 million, and the freeing up of man-hours worth COP\$15 million through operational discipline with 5S. Overall, the benefits exceed COP\$230 million, compared to implementation costs of less than COP\$20 million.

This work provides applied evidence on operational excellence in the cement industry, showing how the integration of continuous improvement methodologies strengthens efficiency, competitiveness, and sustainability in Colombian industrial contexts.

### 3. INTRODUCCIÓN

Actualmente, Planta Maceo enfrenta retos para estabilizar y optimizar sus operaciones, entre los cuales destacan el elevado consumo energético, la criticidad de equipos clave que condicionan la continuidad productiva y la necesidad de estandarizar prácticas operativas. Estas restricciones afectan la eficiencia técnica, los costos de producción y la sostenibilidad ambiental de la planta.

La práctica profesional en Excelencia Operacional que aquí se presenta es una intervención práctica basada en la filosofía Kaizen y el ciclo PHVA, utilizando herramientas como Standard Work (SW), 5S y diseño de KPI. Identificar y priorizar oportunidades de mejora operativa que disminuyan tiempos muertos, optimicen consumos (ACPM y Agua) y mejoren la confiabilidad de los equipos principales, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad de Planta Maceo.

#### 4. CONTEXTUALIZACIÓN

Planta Maceo (CEMEX) es una planta ubicada en Antioquia con una capacidad instalada de casi 1 millón de toneladas anuales de cemento. Sus principales procesos son la extracción y trituración de materia prima, molienda de crudo, calcinación en hornos de clínker, molienda de cemento y tratamiento de aguas industriales (PTAI). La complejidad de estas etapas requiere la articulación entre Producción, Mantenimiento, Calidad, Seguridad Industrial y Excelencia Operacional.

Los principales desafíos operativos son la alta demanda energética y consumo de combustibles como ACPM; disponibilidad y confiabilidad de equipos críticos que afecta la continuidad productiva; y la necesidad de estandarizar procedimientos y prácticas para reducir variabilidad y reprocesos. Estas restricciones tienen efectos directos en el costo por tonelada y en el desempeño ambiental (uso de agua y emisiones).

Por lo anterior, la intervención se centra en tres líneas de acción, la actualización y control de Standard Works (SW) para reducir reprocesos y mejorar trazabilidad; registro y análisis del consumo de ACPM (registro fotográfico y cálculo de litros/tonelada) para identificar oportunidades de ahorro; y control del agua captada y bombeada en la PTAI para detectar desviaciones y pérdidas. Complementariamente, se desarrollarán dashboards (Excel) para facilitar el monitoreo y toma de decisiones por parte de las áreas involucradas. Estas acciones son coherentes con estándares ISO (9001, 14001, 45001) y con prácticas de mejora continua aplicadas en la industria cementera.

Para comprender de manera global el alcance de los procesos de la planta, se representa un SIPOC de alto nivel, en el cual se describen los proveedores principales, las

entradas requeridas, las etapas del proceso productivo, las salidas generadas y los clientes internos y externos que reciben valor del sistema (ver tabla 1).

**Tabla 1**

*SIPOC: Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers.*

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Canteras locales de caliza y arcilla	Materia prima (Caliza, arcilla, yeso, puzolana)	Extracción y trituración de materia prima. Molienda de Crudo. Calcinación en hornos de Clínter. Molienda de Cemento. Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI)	Clinker. Cemento. Agua tratada.	Construcción Civil. Obras de infraestructura. Clientes industriales. Comunidades Aledañas (por impacto ambiental).
Proveedores de energía	Energía eléctrica y combustibles (ACPM, Carbón, alternativos).		Emisiones controladas	Autoridades ambientales
Proveedores Mantenimiento	Repuestos y servicios técnicos		Información de calidad, seguridad y desempeño	Áreas internas de CEMEX (Operaciones, Mantenimiento, Calidad, SST).

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la diversidad de procesos y la interdependencia entre áreas, resulta indispensable identificar a los actores clave que intervienen en la operación de la planta. La siguiente matriz de interesados clasifica a los grupos más relevantes, junto con su rol, nivel de interés y grado de influencia en la gestión operativa (ver tabla 2).

**Tabla 2**  
*Matriz de Stakeholders*

<b>Interesados</b>	<b>Rol/Responsabilidad</b>	<b>Nivel de Interés</b>	<b>Nivel de Influencia</b>
Producción	Garantizar el cumplimiento de las metas de producción de cemento.	Alto	Alto
Mantenimiento	Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos mediante planes preventivos y correctivos.	Alto	Alto
Calidad	Garantizar que el producto cumpla los estándares internos y normativos.	Alto	Alto
Seguridad Industrial	Prevenir incidentes y garantizar condiciones seguras para los colaboradores.	Alto	Alto
Excelencia Sostenible	Garantizar el suministro de agua de la operación, manejar los casos de riesgo biológico que se puedan presentar, realizar la estandarización de procesos.	Alto	Alto
Gerencia	Definir lineamientos estratégicos, asignar recursos y monitorear resultados.	Alto	Alto
Comunidades Aledañas	Impactadas por ruido, emisiones y generación de empleo.	Medio	Bajo
Autoridades Regulatorias	Supervisar el cumplimiento normativo en seguridad, calidad y medio ambiente	Medio	Alto

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Planta Maceo constituye un activo estratégico para CEMEX en Colombia, ya que su eficiencia y sostenibilidad determinan en gran medida la competitividad organizacional. Sin embargo, factores como los altos consumos energéticos, los reprocesos documentales y la variabilidad en prácticas operativas generan sobre costos y riesgos de continuidad que deben ser gestionados mediante metodologías de mejora continua. Desde un punto de vista operativo, la estandarización de procedimientos y la disciplina en la ejecución se convierten en elementos esenciales para alcanzar altos niveles de desempeño, en línea con los principios de excelencia operacional planteados por Imai (1986) y Liker (2004).

En el plano económico, la optimización del consumo de ACPM y agua, así como la reducción de reprocesos inciden directamente en los costos de producción y fortalecen la posición competitiva de la planta frente al mercado cementero, lo que coincide con la visión de Porter (1990) sobre la importancia de la eficiencia en la generación de ventajas competitivas sostenibles. Finalmente, desde una dimensión social y ambiental, la aplicación de prácticas como 5S y Kaizen contribuye no solo a la seguridad y bienestar de los colaboradores, sino también a la reducción de impactos negativos en las comunidades aledañas, en línea con las perspectivas de sostenibilidad industrial de Womack y Jones (1996).

En este sentido, el presente trabajo se justifica porque aporta valor a Planta Maceo mediante la aplicación de herramientas de mejora continua que no solo optimizan la operación y reducen desperdicios, sino que también consolidan una cultura organizacional centrada en la excelencia y en la sostenibilidad económica, social y ambiental.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1.Objetivo General**

Diseñar una propuesta de mejora continua que optimice los procesos operativos de Planta Maceo, incrementando la eficiencia y sostenibilidad mediante la aplicación de metodologías de Excelencia Operacional

### **6.2.Objetivos Específicos**

- Diagnosticar procesos críticos para identificar ineficiencias, cuellos de botella y oportunidades de optimización.
- Actualizar procedimientos operativos mediante Standard Works (SW) que fortalezcan la seguridad, trazabilidad y capacitación del personal.
- Diseñar indicadores clave de desempeño (KPI) asociados al consumo de ACPM, uso de agua y cumplimiento de 5S.
- Desarrollar dashboards en Excel y Power BI que respalden la toma de decisiones y el seguimiento de los procesos estandarizados.

## 7. ALCANCE DE LA PRACTICA

La práctica profesional se desarrollará en Planta Maceo de CEMEX, dentro del área de Excelencia Operacional, con un enfoque orientado al análisis y mejora de procesos desde una perspectiva de eficiencia económica y operativa. En particular, el alcance se centra en los procesos críticos asociados a la implementación y actualización de Standard Works (SW) la aplicación de la metodología 5S y el monitoreo de indicadores de desempeño, en áreas donde la optimización del uso de recursos y la reducción de desperdicios resultan estratégicas para la organización.

El trabajo comprende la identificación de oportunidades de mejora mediante la recolección y análisis de datos, la estandarización de procedimientos que permitan incrementar la productividad y reducir la variabilidad, así como el diseño de herramientas digitales en Excel y Power BI para el seguimiento de métricas clave. Todas estas actividades se apoyan en la filosofía Kaizen y en herramientas de mejora continua. Su propósito es generar información confiable que respalde la toma de decisiones y permita avanzar hacia una operación más eficiente y sostenible.

Quedan fuera del alcance de la práctica decisiones de inversión de capital, transformaciones estructurales a gran escala y definiciones estratégicas de la compañía, de manera que el énfasis se mantenga en la gestión operativa de Planta Maceo y en el análisis aplicado desde el rol de practicante.

El horizonte temporal corresponde al periodo de la práctica (seis meses), durante el cual se espera como entregables la documentación de Standard Works actualizados y validados por el área correspondiente y seguridad industrial, informes de auditoría y seguimiento de la metodología 5S, Dashboards e informes analíticos en Excel y Power BI

para el control de indicadores de desempeño, reporte final de resultados y oportunidades de mejora identificadas, con un análisis desde la perspectiva de eficiencia en el uso de recursos y la optimización de procesos.

## **8. CARACTERIZACIÓN DE LA COMPAÑÍA**

### **8.1. Razón Social de la Compañía**

Nombre: CEMEX COLOMBIA S.A

NIT: 860.002.523-1

### **8.2. Objeto Social**

CEMEX Colombia se dedica a la producción y comercialización de cemento, concreto premezclado y agregados. Su propuesta de valor se fundamenta en ofrecer soluciones integrales para la construcción, bajo un enfoque de sostenibilidad, innovación tecnológica y mejora continua (CEMEX, 2024).

### **8.3. Misión & Visión**

#### **8.3.1. Misión**

Crear valor sostenido al proveer productos y soluciones líderes en la industria para satisfacer las necesidades de construcción de nuestros clientes en todo el mundo.

#### **8.3.2. Visión**

Construyendo un mejor futuro.

### **8.4. Contexto en Colombia y Planta Maceo**

CEMEX tiene presencia en más de 20 ciudades en todo el territorio nacional y tiene diversas plantas estratégicas. Entre ellas, la Planta Maceo (Antioquia), una de las más modernas de Latinoamérica. Sus principales procesos son: extracción de materias primas, molienda, clinkerización, producción de cemento, ensacado y despacho.

La planta tiene capacidad para generar 1 millón de toneladas de clínker al año, convirtiéndose en un punto clave de abasto para el mercado nacional (CEMEX, 2024). A su vez, la operación está certificada bajo estándares internacionales de calidad (ISO 9001), gestión ambiental (ISO 14001) y seguridad laboral (ISO 45001).

Ahora se encuentra en proceso de estabilización general, en donde todos los equipos están siendo probados para asegurar su correcto funcionamiento. "El objetivo es lograr la máxima capacidad productiva sin comprometer la seguridad de los operadores". En ese contexto, hoy los retos de Planta Maceo son: El control de criticidad en equipos, la eficiencia energética en el arranque y estabilización del horno. El fortalecimiento de la disciplina operativa a través de herramientas de mejora continua.

### **8.5. Área de Excelencia Operacional**

En Planta Maceo, el área de Excelencia Operacional busca promover la mejora continua bajo principios Kaizen. Entre sus responsabilidades se destacan: Gestionar la matriz de criticidad de equipos y procesos. Estandarizar actividades operativas mediante documentos Standard Work (SW). Dar seguimiento a programas de orden y limpieza (5S). Promover prácticas de seguridad, eficiencia y sostenibilidad en la operación. Asegurar la comunicación entre operadores y áreas de coordinación, previniendo reprocesos y resolviendo incidencias. De esta manera, el área se articula directamente con la estrategia global de CEMEX de buscar eficiencia, innovación y sostenibilidad en todos sus procesos productivos.

## **9. RELEVANCIA DE LA PRACTICA**

La práctica profesional se desarrolla en el área de Excelencia Operacional de la Planta Maceo, donde el aprendiz contribuye a: Elaborar reportes semanales de criticidad para orientar los futuros procesos a ser estandarizados o actualizados y facilitar su adopción por parte de los operarios. Dar seguimiento a indicadores de consumo de combustibles (ACPM). Monitorear el cumplimiento de las 5S en la planta. Estas actividades fortalecen la gestión operativa de la planta y aportan a la compañía en su objetivo de mejorar continuamente la eficiencia y reducir desperdicios, en coherencia con la visión corporativa de “Construir un mejor futuro”.

### **9.1. Conexión con la Práctica Profesional**

El área de Excelencia Operacional se convierte en el espacio idóneo para el desarrollo de la práctica, dado que allí convergen los principales retos de eficiencia y sostenibilidad que enfrenta la planta. Su adecuada gestión impacta de manera directa en los costos de producción, la competitividad organizacional y el posicionamiento estratégico de CEMEX en el mercado nacional. Por lo tanto, la práctica no solo se vuelve operativa, sino también económica y social, al colaborar con la sostenibilidad de los procesos, el uso eficiente de recursos energéticos y el fortalecimiento de una cultura de mejora continua con proyección a largo plazo.

## 10. MARCO TEORICO

La excelencia operacional y la mejora continua se han convertido en elementos esenciales para la competitividad de las empresas manufactureras. Su objetivo principal no es la disminución de desperdicios, sino la garantía de sostenibilidad, disciplina operativa y competitividad en los mercados más exigentes (Imai, 1986;Liker, 2004). Pero la literatura académica revela que la excelencia operacional no es un modelo único, sino la combinación de diferentes metodologías que se adaptan al contexto productivo y los recursos disponibles.

En este contexto, vale la pena contrastar tres enfoques comunes: Kaizen, Lean Manufacturing, Six Sigma. Kaizen es la filosofía de realizar pequeñas mejoras de manera continua, involucrando a todos en la organización en un proceso de cambio constante (Imai, 1986). Lean, por el contrario, se centra en la eliminación sistemática de todo aquello que no aporta valor, haciendo uso de herramientas como 5S, Just-in-Time o SMED (Ohno, 1988; Womack & Jones, 1996). Mientras que Six Sigma busca disminuir la variación de los procesos usando estadísticas avanzadas y así asegurar la confiabilidad y los altos estándares de calidad (Sousa et al., 2020). Si bien todas comparten ciertos principios, cada metodología tiene algo que ofrecer: Kaizen refuerza la cultura, Lean agiliza los flujos y Six Sigma aporta rigor estadístico.

La conexión de estas metodologías con la teoría económica también es clara. Desde la mirada de la ventaja competitiva de Porter (1990), la eficiencia energética y la estandarización de procesos hacen que la empresa disminuya los costos unitarios y mejore su posición en el mercado. En términos de productividad marginal, cada litro de ACPM ahorrado o cada metro cúbico de agua optimizado disminuye los costos por tonelada de

clínter, haciendo más eficiente el sistema. De esta manera, la implementación de metodologías de mejora continua no sólo influye en la parte operativa, sino que representa una estrategia económica a largo plazo.

### **10.1. Excelencia Operacional y Mejora Continua**

La excelencia operacional es un modelo de gestión integral que se centra en la optimización de procesos mediante la estandarización, la disciplina operativa y la mejora continua. Herramientas clave como el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), Kaizen, Lean Manufacturing y Six Sigma son fundamentales para la implementación de estos principios. Cada uno de estos enfoques busca mejorar la eficiencia y reducir desperdicios, pero con diferencias significativas en su implementación y enfoque (Imai, 1986; Liker, 2004; Woomack & Jones, 1996).

### **10.2. Metodologías de Mejora Continua**

#### **Kaizen**

La filosofía Kaizen (del japonés “Kai” = cambio y “Zen” = mejor) se basa en la mejora continua a través de pequeñas acciones incrementales realizadas de manera constante. En su núcleo, Kaizen busca involucrar a todos los miembros de la organización, desde los operativos hasta la alta dirección, en el proceso de mejora. Esto fomenta una cultura de trabajo colaborativo y responsabilidad compartida (Imai, 1986).

#### **Ventajas**

- Fomenta la participación activa de los empleados, lo que mejora la moral y el compromiso.
- Es relativamente fácil de implementar, ya que se enfoca en cambios pequeños y sostenibles.

### **Desventajas**

- El proceso es gradual, lo que puede resultar en una mejora lenta en comparación con otros enfoques más disruptivos.
- Puede haber resistencia al cambio si la cultura organizacional no está alineada con la filosofía de mejora continua (Liker, 2004).

### **Lean Manufacturing**

El enfoque Lean se centra en la eliminación de desperdicios y en la mejora de la eficiencia mediante la optimización de procesos. A través de herramientas como 5S, Just-in-Time (JIT) y SMED, Lean busca eliminar cualquier actividad que no aporte valor al cliente, lo cual reduce los tiempos de producción y los costos operativos (Womack & Jones, 1996).

#### Ventajas

- Reduce el desperdicio y mejora la eficiencia operativa, lo que puede resultar en ahorros significativos.
- Aumenta la competitividad al optimizar el uso de recursos.

#### Desventajas

- Requiere un alto nivel de disciplina operativa, lo que puede ser difícil de mantener a largo plazo sin el compromiso constante de todos los niveles jerárquicos.
- La implementación exitosa de Lean requiere un cambio cultural significativo, especialmente en empresas con estructuras informales (Bento & Tontini, 2019).

### **Six Sigma**

Six sigma es un enfoque de mejora continua que utiliza herramientas estadísticas avanzadas para reducir la variabilidad en los procesos y asegurar altos niveles de calidad. Su objetivo principal es alcanzar un nivel de calidad en el que se produzcan menos de 3,4 defectos por cada millón de oportunidades (Sousa et al., 2020).

#### Ventajas

- Mejora la calidad del producto y reduce los costos asociados con los defectos.
- Proporciona un macro cuantitativo para medir la mejora en el desempeño de los procesos.

#### Desventajas

- Requiere una formación técnica especializada en estadísticas, lo que puede ser costoso para algunas organizaciones.
- Su implementación puede ser lenta y costosa, especialmente si no se cuenta con los recursos adecuados (Sousa et al., 2020).

### 10.3. Comparación de Enfoques: Kaizen, Lean y Six Sigma

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que resume las características, ventajas y limitaciones de cada enfoque:

**Tabla 3**

*Cuadro comparativo entre metodologías Kaizen, Lean y Six Sigma.*

<b>Característica</b>	<b>Kaizen</b>	<b>Lean</b>	<b>Six Sigma</b>
Filosofía	Mejora Continua mediante pequeños cambios diarios.	Eliminación de desperdicios y mejora de procesos.	Reducción de variabilidad y mejora de calidad.
Ventajas	Fomenta la participación de todos, mejora la	Mejora la eficiencia, reduce	Mejora la calidad, reduce defectos, enfoque cuantitativo.

	cultura organizacional.	costos y tiempos de producción.	
Desventajas	Proceso lento, resistencia al cambio si la cultura no lo permite.	Requiere alta disciplina operativa y cambio cultural significativo.	Requiere formación avanzada, costoso y puede ser lento.
Aplicabilidad en Latinoamérica	Puede encontrar resistencia cultural debido a la informalidad.	Dificultades por la falta de estandarización en muchos sectores.	Requiere infraestructura y capital humano capacitado.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

#### 10.4. Limitaciones en Latinoamérica

La implementación de estas metodologías enfrenta barreras significativas en Latinoamérica debido a factores estructurales y culturales.

- Kaizen, aunque valiosa por su enfoque participativo, puede encontrar resistencia cultural, especialmente en empresas donde las jerarquías son rígidas y donde no existe una cultura de mejora continua (Imai, 1986).
- Lean, que requiere una alta disciplina operativa, puede resultar difícil de implementar en un contexto latinoamericano donde la informalidad en los procesos es común, especialmente en pequeñas y medianas empresas (Bento & Tontini, 2019).
- Six Sigma, que depende de un alto nivel de conocimiento técnico y recursos para su implementación, puede ser inviable en empresas latinoamericanas que no cuentan con la infraestructura o el capital necesario para formar personal altamente capacitado (Sousa et al., 2020).

#### 10.5. Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Industria Cementera

La industria cementera es intensiva en el consumo de energía y recursos naturales, lo que convierte la eficiencia energética en un factor estratégico tanto económico como

ambiental. Diversos estudios confirman que la reducción del consumo energético disminuye costos de producción y fortalece la competitividad internacional de las empresas (Montalbano & Nenci, 2019).

La integración de prácticas Lean con iniciativas de sostenibilidad, como la economía circular y la reducción de huella de carbono, se plantea como una tendencia emergente en la región (Halldórsson et al., 2018; Bjørnbet et al., 2021). En particular, la estandarización de procesos mediante Standard Work y 5S contribuye a reducir reprocesos, minimizar pérdidas de energía y optimizar insumos, lo que representa beneficios directos para plantas cementeras en consolidación, como el caso de Planta Maceo.

#### **10.6. Desafíos Institucionales y Humanos en la Excelencia Operacional**

Las metodologías de mejora continua en Latinoamérica tienen barreras asociadas a factores institucionales y culturales. La rigidez normativa, la informalidad en la implementación de prácticas Lean y la poca innovación restringen el impacto de estas metodologías (Friel & De Villechenon, 2018; Arocena & Sutz, 2020). Además, la literatura indica que el compromiso gerencial, el liderazgo y la capacitación del capital humano son factores para establecer impactos sustentables (Toledo et al., 2019; Zapata-Cantú & González, 2021).

En esa línea, la gestión de talento es un pilar transversal de la excelencia operacional. La involucración de los empleados en prácticas como Kaizen y 5S mejora la eficiencia y refuerza la cultura, creando un círculo virtuoso de mejora continua (Sousa et al., 2020).

Vacío

### **10.7. Vacíos de Investigación y Relevancia para el Caso de Planta Maceo**

A pesar de la gran cantidad de literatura existente sobre la implementación de estas metodologías en sectores como el automotriz, la manufactura y la industria electrónica, existe un vacío significativo en la investigación aplicada a la industria cementera en Latinoamérica. La literatura sobre la adaptación de metodologías de mejora continua, como Kaizen, Lean y Six Sigma, a las condiciones específicas de la industria cementera en países latinoamericanos es aún escasa (García-Alcaráz et al., 2021; Montalbano & Nenci, 2019).

Específicamente, los estudios sobre la eficiencia operativa y la sostenibilidad en Planta Maceo, así como en otras plantas cementeras de la región, ofrecen una oportunidad única para explorar cómo los contextos locales afectan la aplicación de estas metodologías y cómo las empresas pueden superar las barreras culturales, económicas e institucionales para implementar mejoras efectivas.

## 11. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se basa en el ciclo de mejora continua PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), lo cual permite engranar las etapas prácticas desarrolladas en la práctica con criterios analíticos para medir, verificar y proyectar los resultados alcanzados en términos operativos y económicos. Esta metodología se alinea con las prácticas de Lean, Kaizen y Six Sigma, garantizando la eliminación de desperdicios, la estandarización de procesos y la mejora continua. Además, se suman enfoques de digitalización y automatización de procesos, en línea con los principios de la Industria 4.0.

### 11.1. Enfoque y Tipo de Investigación

La investigación es de tipo cuantitativa, descriptiva-analítica y aplicada. El propósito es resolver problemas operativos específicos de Planta Maceo y proporcionar evidencia empírica sobre la relación entre la excelencia operacional y la eficiencia económica en la industria cementera en Colombia. Se cuantificará el impacto de la estandarización de documentos Standard Works (SW), el consumo de energía (ACPM) y la disciplina operativa (medida a través de la metodología 5S) en los costos de producción y el uso eficiente de recursos.

#### VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

- Dimensión operativa: Evaluación de la reducción de reprocesos en la estandarización de SW y la confiabilidad documental.
- Dimensión económica: Análisis del ahorro en el consumo de ACM y la optimización de los costos energéticos asociados al bombeo de agua.
- Dimensión organizacional: Evaluación del nivel del cumplimiento de las auditorías 5S y el fortalecimiento de la disciplina operativa.

## **11.2. Población y Muestra**

La población de estudio está compuesta por los procesos críticos de la planta relacionados con la actualización y control de Standard Works (SW), el consumo de ACPM y la disciplina operativa en las auditorías 5S. Estos procesos fueron seleccionados debido a su impacto directo en los costos operativos y la eficiencia energética.

La muestra, de naturaleza no probabilística y dirigida, ya que se seleccionaron los procedimientos con mayor incidencia en el gasto energético y la eficiencia operativa. Las actividades priorizadas son:

- I. Registros de consumo de ACPM asociados con los equipos de planta, especialmente aquellos con mayor incidencia en el gasto energético.
- II. Registros de agua captada y bombeada en la PTAI esenciales para el análisis de eficiencia hídrica.
- III. Auditorías de cumplimiento de 5S centradas en las áreas críticas identificadas a través de un análisis previo de flujos operativos.

El tamaño de la muestra se determina con base en el método de muestreo por conveniencia y en la frecuencia de aplicación de los procedimientos seleccionados. Para asegurar la representatividad dentro de los límites de la planta, se priorizaron los procedimientos que tienen un alto impacto económico y que se realizan con regularidad, lo que permite un análisis robusto.

### **11.2.1. Criterios para el Tamaño de la Muestra**

El tamaño de la muestra se determinó en función de los siguientes criterios:

- Frecuencia de aplicación: Se seleccionaron aquellos procedimientos que se realizan con mayor frecuencia (por ejemplo, registros de consumo de ACPM, auditorías de 5S).
- Impacto económico: Se priorizaron los procedimientos que tienen mayor impacto en los costos operativos y en la eficiencia energética, como el consumo de ACPM y los controles de 5S.

### **11.2.2. Pruebas Estadísticas y Validación**

Para el análisis estadístico, se emplearán las siguientes pruebas:

- I. Correlación de Pearson: Se utilizará para medir la relación entre las variables de consumo de ACPM, agua, y cumplimiento de las auditorías de 5S, con el objetivo de determinar cómo impactan estos factores en la eficiencia operativa y económica.
- II. Prueba de significancia: Se aplicará un nivel de significancia de 0.05, utilizando la prueba t para muestras independientes en aquellos casos donde se comparen dos grupos (por ejemplo, antes y después de la implementación de la mejora continua). Esta prueba permitirá validar si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas.
- III. Análisis Costo-Beneficio: Se realizará un análisis económico para comparar los costos de implementación de las mejoras (como la actualización de los SW y la formación en 5S) con los beneficios proyectados, como el ahorro en consumo de ACPM y la optimización del uso de agua. Este análisis nos permitirá calcular la rentabilidad de las inversiones realizadas en las actividades de mejora continua.

### 11.2.3. Planta para Asegurar la Replicabilidad

Para garantizar que los resultados sean replicables y verificables, se seguirán los siguientes pasos:

- Documentación detallada: Todos los procedimientos de recolección de datos, análisis y pruebas estadísticas estarán documentados de manera exhaustiva para permitir la reproducción del estudio.
- Control de calidad de los datos: Se implementará un sistema de doble verificación para asegurar la exactitud de los registros de consumo de ACPM, agua y auditorías 5S. Esto incluirá una revisión periódica de los datos recolectados para identificar y corregir posibles errores antes de proceder con el análisis.
- Establecimiento de protocolos: Se definirá un protocolo claro para la recolección de datos, especificando las frecuencias de medición, las condiciones de trabajo y los responsables de la toma de información. Esto permitirá que otros estudios en el futuro puedan replicar el proceso bajo condiciones similares.

La metodología empleada para la selección de la muestra y la aplicación de pruebas estadísticas permitirá obtener resultados válidos y confiables que puedan ser replicados en otros estudios dentro de la industria cementera. El enfoque no solo garantiza un análisis robusto de la eficiencia operativa en Planta Maceo, sino que también contribuye a la literatura sobre la mejora continua en contextos latinoamericanos, al ofrecer una base sólida para futuras investigaciones.

### **11.3. Alcance Temporal y Espacial**

La práctica profesional se realiza durante 26 semanas en la Planta Maceo de CEMEX Colombia, desde el diagnóstico hasta la socialización de resultados y entrega del informe final. Cobertura espacial: limitada a las actuaciones PTAI, al consumo de ACPM de equipos críticos y a los procesos de actualización de SW. Implica la metodología 5S en áreas de almacenamiento y zonas productivas, impactando en la eficiencia productiva, disciplina operativa y reducción de costos, preparando la planta para la implementación de herramientas digitales y sistemas de monitoreo en tiempo real.

### **11.4. Variables, Indicadores y Métodos de Análisis.**

Las variables se estructuran en tres dimensiones principales: operativa, económica y organizacional, incorporando adicionalmente el componente de digitalización y automatización. La dimensión operativa evalúa la reducción de reprocesos en SW y la confiabilidad documental; la dimensión económica analiza el ahorro en consumo de ACPM por tonelada de clínker producido y la optimización de los costos energéticos asociados al bombeo de agua; la dimensión organizacional mide el cumplimiento de auditorías 5S y el fortalecimiento de la disciplina operativa. La dimensión de digitalización considera la implementación de herramientas como PowerApps y dashboards, así como la eficiencia de los procesos automatizados. Entre los indicadores clave (KPI) se incluyen: porcentaje de reprocesos en SW validados, consumo de ACPM por tonelada de clínker, variación porcentual en consumo de agua bombeada, nivel de cumplimiento en 5S y tiempo de aprobación de SW en plataformas digitales, permitiendo medir tanto el desempeño operativo como el impacto económico de la digitalización y la mejora continua.

**Tabla 4***Variables, indicadores y métodos de análisis*

<b>Componente</b>	<b>Variable de Análisis</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método de medición</b>	<b>Relación con normas ISO</b>
Standard Works (SW)	Reprocesos documentales	Porcentaje (%) de rechazos en validación; tiempo promedio de aprobación	Seguimiento en PowerApps y tiempos de flujo	ISO 9001 (calidad): asegura trazabilidad y control documental
ACPM	Consumo energético	Lts/ton de clínker; costo COP/ton	Registro diario en Excel + análisis de tendencia; monetización del ahorro	ISO 14001 (ambiental): uso eficiente de recursos y reducción de huella
5S	Disciplina operativa	Porcentaje de cumplimiento de listas de verificación; horas-hombre liberadas	Observación directa y listas corporativas	ISO 45001 (seguridad): ambientes de trabajo ordenados y seguros

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### **11.5. Técnicas de Análisis de Datos**

Para garantizar la validez de los resultados obtenidos y la replicabilidad del estudio, se implementará un control de calidad de los datos mediante un sistema de doble verificación de entradas registradas (por ejemplo, consumo de ACPM, cumplimiento de 5S). Además, se documentarán exhaustivamente los procedimientos utilizados en la recolección y análisis de los datos para asegurar que los resultados puedan ser replicados por otros investigadores o estudios en el futuro.

### **11.6. Fases Metodológicas**

El proceso metodológico se estructura bajo el ciclo PHVA. En la etapa de Planear, se identifican los procesos clave, se definen los indicadores y se establece el cronograma.

En la etapa de Hacer, se realiza la actualización de software, el registro diario de ACPM y agua, listas de chequeo 5S y la implementación de dashboards y herramientas digitales para seguimiento en tiempo real. En Verificar, los resultados se analizan a través de indicadores, correlaciones y comparaciones internas, midiendo la eficiencia operativa, el cumplimiento 5S y los beneficios económicos. Finalmente, en la etapa de Actuar, se proponen mejoras, las cuales se socializan con el área de Excelencia Operacional e incluyen sugerencias de automatización, optimización de recursos y seguimiento digital que garanticen que las mejoras impacten en costos y productividad.

**Tabla 4**

*Fases metodológicas bajo el ciclo PHVA*

<b>Fase</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>Actividades principales</b>	<b>Responsable</b>	<b>Recursos</b>	<b>Plazos estimados</b>
Planear	Diagnosticar y priorizar procesos críticos	Revisión de SW, identificación de procedimientos prioritarios, inicio de registros de ACPM	Practicantes + Supervisores	SW, Excel	Semanas 1-4
Hacer	Ejecutar actividades de estandarización y control	Actualización de SW, aplicación listas 5S, registro diario de ACPM	Practicante + Supervisores	SW, PowerApps, Excel	Semanas 5-16
Verificar	Validar y analizar información recopilada	Revisión de SW con Seguridad Industrial, consolidación de ACPM, análisis de	Practicante + Seguridad Industrial	Excel, listas de chequeo	Semanas 17-22

		cumplimiento 5S			
Actuar	Socializar y proponer mejoras	Elaboración de informe final, presentación a Excelencia Operacional y gerencia	Practicante + Área de Excelencia	Reportes, presentaciones	Semanas 23-26

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### 11.7. Limitaciones Metodológicas

Entre las limitaciones identificadas se destacan el tiempo restringido de la práctica, que limita la posibilidad de ampliar la muestra, y la dependencia de registros realizados por terceros, que puede introducir sesgos o inconsistencias. Además, la aplicabilidad de los resultados se circunscribe al contexto de Planta Maceo, por lo que las conclusiones no necesariamente pueden generalizarse a otras plantas del país.

### 11.8. Consideraciones Éticas

El desarrollo de la práctica respeta los lineamientos internos de la compañía, garantizando la confidencialidad de la información operativa y su uso exclusivo para fines académicos y de mejora interna. Las entrevistas y registros se realizan con consentimiento informado, asegurando la participación voluntaria y anónima de los colaboradores.

### 11.9. Impacto Económico

Los resultados de la investigación proporcionarán un análisis económico detallado sobre los beneficios económicos derivados de la implementación de las metodologías de mejora continua en Planta Maceo. Se espera que la reducción de reprocesos y la optimización del uso de recursos (ACPM, agua) generen ahorros que superen los costos de implementación, mejorando así la competitividad y sostenibilidad de la planta.

## 12. PRESUPUESTO

El presupuesto de la práctica contempla tanto los costos asociados a la ejecución como los beneficios proyectados por la implementación de metodologías de excelencia operacional. En cuanto a costos, los directos corresponden a suministros básicos y transporte del practicante, mientras que los indirectos incluyen el tiempo de supervisión de personal especializado y el uso de recursos tecnológicos de la planta. Estos costos se estiman en aproximadamente \$18,5 millones COP.

Por su parte, los beneficios proyectados superan ampliamente a los costos. La reducción de reprocesos en Standard Works representa un ahorro cercano a \$40 millones COP, mientras que la optimización del consumo de ACPM —considerando una reducción conservadora del 2% sobre un gasto anual estimado en \$7.500 millones— genera un ahorro potencial de \$150 millones COP. Adicionalmente, el control del bombeo de agua permitiría evitar sobrecostos energéticos y de tratamiento por aproximadamente \$25 millones COP, y la mejora en disciplina operativa con 5S se traduce en una liberación de horas-hombre valorada en \$15 millones COP.

En conjunto, los beneficios alcanzan aproximadamente \$230 millones COP, lo que demuestra que la práctica no solo es viable económicamente, sino que contribuye de manera significativa a la competitividad y sostenibilidad de Planta Maceo.

Ahora, para calcular los ahorros proyectados, se han tomado en cuenta diversos supuestos basados en la experiencia operativa de Planta Maceo y en estimaciones razonables derivadas de las mejoras esperadas a través de la implementación de las metodologías de mejora continua. En primer lugar, se ha considerado una reducción conservadora del 2% en el consumo anual de ACPM, lo cual se considera un valor

alcanzable dadas las medidas que se implementarán para mejorar la eficiencia operativa y el control del consumo energético en los equipos. Este ahorro en ACPM es significativo, ya que representa un costo importante dentro de los insumos de la planta.

En cuanto a la reducción de reprocesos en los Standard Works (SW), se ha estimado un ahorro del 10%, basado en la eficiencia alcanzada a través de la estandarización y la mejora continua de los procedimientos. La actualización y optimización de los SW permitirán una mejora en la trazabilidad de los procesos, reduciendo significativamente los tiempos invertidos en correcciones evitando errores recurrentes.

Respecto al control del bombeo de agua en la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI), se ha proyectado un ahorro del 10% en los costos energéticos relacionados con el consumo de agua, estimando que las intervenciones realizadas para identificar desviaciones y mejorar la eficiencia operativa permitirán reducir el uso de energía asociado al bombeo. Este supuesto se basa en las desviaciones históricas observadas y en los ahorros obtenidos en intervenciones anteriores en la planta.

Por último, en cuanto a la mejora en la disciplina operativa a través de la implementación de la metodología 5S, se ha calculado una liberación de horas-hombre valorada en aproximadamente \$15 millones COP. Esta liberación de tiempo es el resultado de una reducción en los tiempos improductivos generados por la falta de organización en las áreas operativas. El cumplimiento de las auditorías 5S optimizará el espacio de trabajo y mejorará la eficiencia general en la planta, permitiendo a los empleados dedicar más tiempo a las actividades productivas.

**Tabla 5**  
*Presupuesto estimado de la práctica profesional en Planta Maceo*

<b>Concepto</b>	<b>Tipo</b>	<b>Costo estimado (COP)</b>	<b>Justificación</b>
Papelería, impresión y suministros básicos	Directo	\$1.500.000	Insumos de Oficina requeridos para actualización de SW y elaboración de informes.
Licencias de Software (Excel, Power BI)	Directo	\$0	Herramientas provistas por la compañía.
Energía y conexión a red corporativa	Indirecto	\$3.000.000	Uso de recursos tecnológicos de planta.
Tiempos de supervisión (horas hombre de personal de Excelencia Operacional y Seguridad Industrial)	Indirecto	\$12.000.000	Acompañamiento en validación de SW y en controles de ACPM y 5S.
Beneficio estimado: ahorro en reprocesos de SW	Beneficio	\$40.000.000	Reducción de reprocesos documentales (10% proyectado).
Beneficio estimado: Ahorro en consumo de ACPM	Beneficio	\$150.000.000	Optimización de consumo (reducción de 2-3% en Lts/ton clinker).
Beneficio estimado: ahorro en bombeo de agua (energía asociada)	Beneficio	\$25.000.000	Identificación de desviaciones y sobrecostos en PTAI.
Beneficio estimado: horas-hombre liberadas por cumplimiento 5S	Beneficio	\$15.000.000	Disminución de tiempos improductivos y búsquedas.

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia a partir de estimaciones de consumo energético e insumos de Planta Maceo.

### 13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de la práctica se organiza en un horizonte de 26 semanas, correspondientes a un semestre académico, y combina tanto las actividades operativas en Planta Maceo como los entregables académicos del trabajo de grado. De esta manera, se asegura que las tareas propias de la práctica profesional contribuyan de forma directa al desarrollo del proyecto académico.

En la fase inicial, entre las semanas 1 y 4, se llevaron a cabo las actividades de inducción, diagnóstico y priorización de procesos críticos, incluyendo la identificación de procedimientos documentales a actualizar en Standard Works (SW). En paralelo, se formuló el anteproyecto académico, el cual fue sometido a revisión y retroalimentación por parte del director de trabajo de grado.

En las semanas 5 a 16 se continuaron realizando acciones principales como la actualización de SW, registro de consumo de ACPM, control de agua en la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI) y listas de verificación 5S en puntos críticos. Dichas actividades operativas se combinaron con la elaboración de los capítulos para el marco teórico y metodología, así como para los avances periódicos al director.

Entre la semana 17 y 20 se realizaron las correlaciones entre el consumo de ACPM y la producción de clínker, el benchmarking interno de los resultados 5S y la validación de los SW actualizados en PowerApps. Académicamente, en este mismo tiempo se consolidaron los resultados iniciales y se profundizó en la discusión a partir de los indicadores establecidos.

Finalmente, entre las semanas 21 y 26, se socializaron los hallazgos con el área de Excelencia Operacional y se formularon propuestas de mejora aplicables a la planta. De

manera paralela, se elaboró el informe final del trabajo de grado, el cual incluyó el presupuesto y la discusión de resultados, y se preparó la versión definitiva para envío a comité junto con la presentación para la sustentación.

La siguiente tabla sintetiza las actividades principales, diferenciando claramente entre el componente operativo de la práctica y el componente académico del trabajo de grado:

**Tabla 5**

*Cronograma de Actividades Operativas y Académicas (26 semanas).*

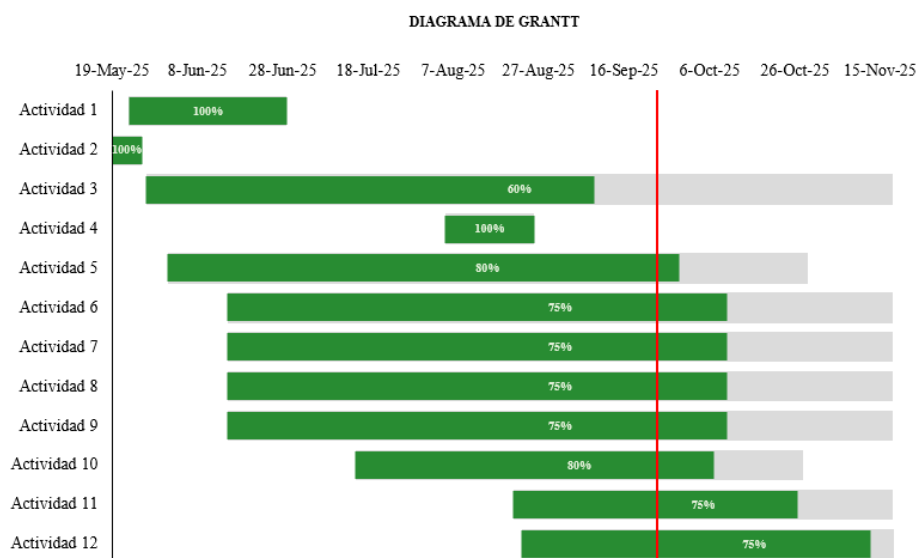
<b>Etapa</b>	<b>Actividades operativas (Planta Maceo)</b>	<b>Actividades académicas (Trabajo de grado)</b>	<b>Entregables</b>	<b>Semanas</b>
Inicio	Diagnóstico inicial, inducción en seguridad, identificación de procesos críticos y procedimientos SW prioritarios.	Formulación del anteproyecto y revisión con el director.	Documento anteproyecto ajustado.	1-4
Desarrollo (fase 1)	Actualización de SW, registro diario de ACPM, control de agua en PTAI, aplicación de listas 5S.	Redacción del marco teórico y metodología; envío de avances al director.	Capítulos 1-2 Consolidados.	5-12
Desarrollo (fase 2)	Continuación de actualización de SW, validación con áreas de Seguridad, consolidación de registros en Excel.	Avance de resultados preliminares y construcción del cronograma detallado en Excel.	Capítulos 3-4 en versión preliminar.	13-16
Análisis	Análisis de consumo de ACPM vs producción,	Análisis de datos y discusión de resultados	Capítulo 5 (Resultados preliminares).	17-20

	benchmarking de 5S, validación de SW en PowerApps.	parciales con el director.		
Cierre	Socialización de hallazgos con Excelencia Operacional y propuesta de mejoras	Redacción de discusión y conclusiones; integración de presupuesto.	Informe final completo (borrador).	21-24
Finalización	Entrega y defensa interna en Excelencia Operacional	Ajustes finales y preparación para sustentación ante jurado.	Documento final para comité y presentación de sustentación.	25-26

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de la planificación de actividades de práctica y académicas.

### Ilustración 1

*Progreso de actividades de la práctica para el 25 de septiembre del 2025*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir del diagrama de actividades de la práctica.

## **14. RESULTADOS ESPERADOS**

El objetivo de este trabajo es demostrar cómo la implementación de las metodologías de mejora continua (Kaizen, Lean, Six Sigma) contribuye de manera significativa a la eficiencia operativa y la sostenibilidad económica de Planta Maceo. Los resultados esperados están estructurados en tres dimensiones principales: operativa, económica y organizacional. A continuación, se detallan los resultados esperados, vinculándolos con indicadores clave de desempeño macroeconómicos que reflejan la rentabilidad y eficiencia operativa de la planta.

### **14.1. Dimensión Operativa**

Uno de los principales resultados operativos esperados es la reducción del 10% en los reprocesos documentales derivados de la mejora en los Standard Works (SW). Esta mejora contribuirá a la optimización del tiempo dedicado a las actividades operativas y administrativas, reduciendo el tiempo perdido en la corrección de errores documentales y en la duplicación de esfuerzos. Se proyecta que este ahorro en tiempo resultará en una mayor eficiencia operativa, lo que se reflejará en una mejora en el costo por tonelada producida, ya que se reducirán los tiempos improductivos relacionados con los procesos administrativos y operativos.

### **14.2. Dimensión Económica**

El ahorro estimado en el consumo de ACPM es uno de los resultados más destacados en términos económicos. Se espera una reducción del 2% en el consumo de ACPM, lo que se traduce en un ahorro de aproximadamente \$150 millones COP anuales. Este ahorro afectará directamente los costos operativos, reduciendo los costos variables por

tonelada de clínker producido. De esta manera, se logrará una mejora en la rentabilidad operativa de la planta, al disminuir los costos asociados al consumo de energía.

Además, se espera una reducción de \$25 millones COP en los costos energéticos relacionados con el bombeo de agua en la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales (PTAI), como resultado de la mejora en la eficiencia del proceso. Este ahorro, combinado con el ahorro en ACPM, contribuirá a la mejora del margen de rentabilidad de la planta, ya que reducirá los gastos operativos sin comprometer la capacidad de producción.

### **14.3. Dimensión Organizacional**

En el ámbito organizacional, se proyecta que la implementación de la metodología 5S contribuirá significativamente a la mejora en la disciplina operativa y la reducción de tiempos improductivos. Se espera una liberación de horas-hombre valorada en \$15 millones COP, lo que resultará en un aumento en la productividad laboral y una mejora en la eficiencia en la ejecución de las tareas operativas. Esta liberación de horas-hombre también permitirá una optimización en el uso de recursos humanos, lo cual tiene un impacto positivo tanto en los costos operativos como en la rentabilidad de la planta.

### **14.4. Impacto en Indicadores Macro y Rentabilidad**

Los resultados económicos obtenidos no solo mejorarán la eficiencia operativa en la planta, sino que también impactarán en los indicadores macroeconómicos clave de la empresa, tales como el costo por tonelada producida y el margen de rentabilidad. A medida que se reduzcan los costos asociados con el consumo de ACPM y el bombeo de agua, se espera que el costo por tonelada producida disminuya, lo que permitirá a Planta Maceo ser más competitiva en el mercado. Esta reducción en los costos también contribuirá a un

aumento en el margen de rentabilidad, al generar ahorros significativos sin reducir la capacidad de producción.

Se estima que la combinación de los ahorros operativos (reducción de reprocesos, optimización del consumo de energía, liberación de horas-hombre) se traducirá en una mejora del margen EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization), reflejando una mayor eficiencia económica en la planta.

#### **14.5. Conclusión**

En resumen, los resultados esperados para Planta Maceo incluyen una mejora en la eficiencia operativa, una reducción significativa de costos y una optimización de los recursos. Estos resultados no solo impactarán positivamente en el rendimiento económico de la planta, sino que también mejorarán los indicadores clave de desempeño macroeconómico, tales como el costo por tonelada producida y el margen de rentabilidad, fortaleciendo la posición competitiva de la planta en el mercado. La implementación exitosa de estas metodologías de mejora continua no solo aportará a la eficiencia operativa, sino que también asegurará la sostenibilidad económica de Planta Maceo a largo plazo.

## 15. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos tras la implementación de las metodologías de mejora continua en Planta Maceo (CEMEX S.A.). Por motivos de confidencialidad y protección de la información de la compañía, las cifras presentadas en este capítulo se muestran como estimaciones aproximadas – no representan registros operativos exactos – y deben interpretarse como una aproximación razonable de los resultados observados tras la implementación de las iniciativas de mejora continua.

Los datos y análisis que siguen se construyen sobre esa base y buscan ilustrar de manera rigurosa las tendencias, impactos y decisiones asociadas a la intervención.

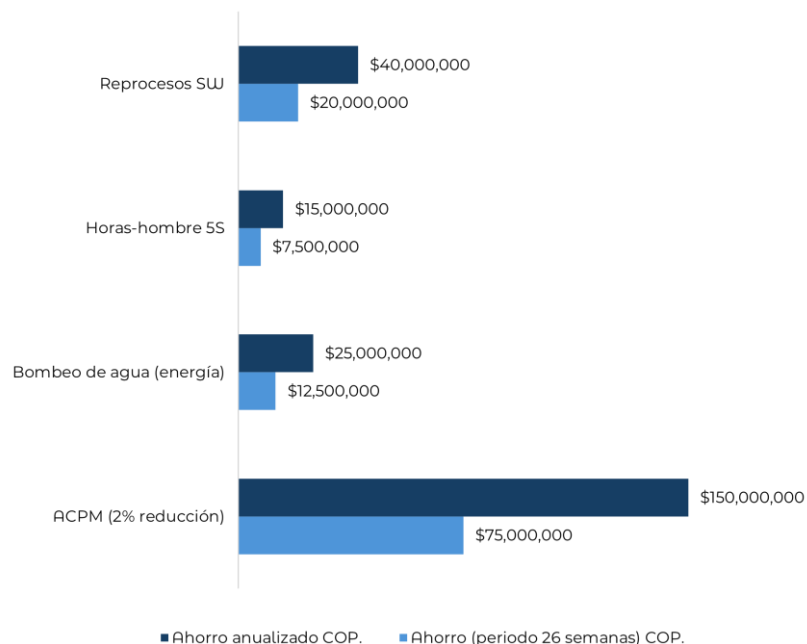
### 15.1. Dimensión Económica – Ahorro y Análisis de Costo Beneficio.

El análisis económico se centra en los ahorros proyectados y simulados derivados de la implementación de mejoras en el consumo del ACPM, bombeo de agua, reducción de reprocesos y mejoras en disciplina operativa (5S).

El ROI semestral calculado es de aproximadamente 622% mientras que el ROI anualizado alcanza el 1.243%. El Payback estimado es de un mes, demostrando la alta rentabilidad de la inversión en mejora continua.

#### **Ilustración 2**

*Ahorro semestral y anual por rubro*



*Nota. Las cifras que aparecen en el gráfico son aproximaciones utilizadas para proteger la confidencialidad de la información operativa de la planta; se presentan con fines ilustrativos y analíticos.* Fuente: Elaboración propia a partir del SharePoint de Excelencia Operacional – Planta Maceo.

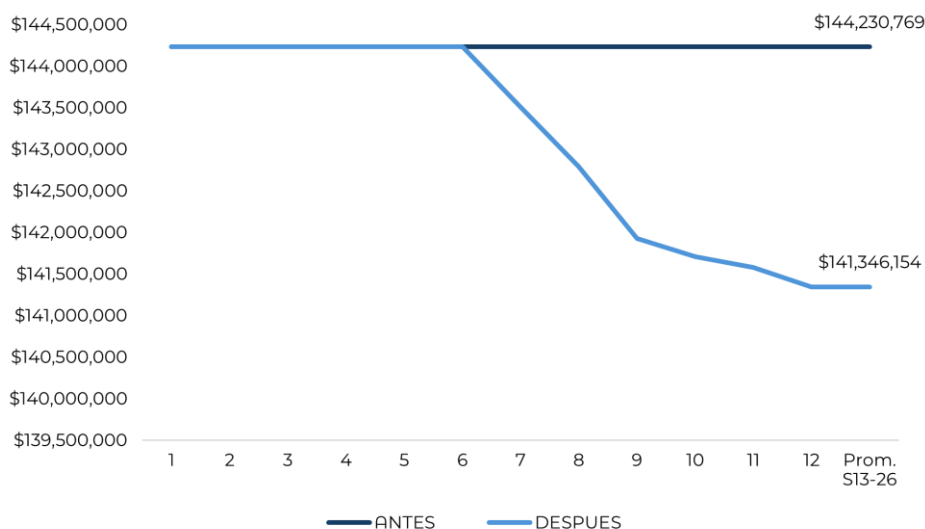
### **15.2. Dimensión Operativa – Consumo de ACPM y Continuidad Productiva.**

La reducción en el consumo de ACPM fue progresiva a lo largo del periodo de 26 semanas. Durante las primeras seis semanas no se evidenciaron cambios significativos, pero a partir de la semana 7 los controles comenzaron a reflejar reducciones estables de hasta un 2%.

El ahorro acumulado en consumo de ACPM durante las 26 semanas asciende a COP \$75 millones, equivalente al 2% de reducción proyectada sin afectar la continuidad operativa.

### **Ilustración 3**

*Evolución del Coste del ACPM (Antes vs Después).*



*Nota. Las cifras que aparecen en el gráfico son aproximaciones utilizadas para proteger la confidencialidad de la información operativa de la planta; se presentan con fines ilustrativos y analíticos. Fuente: Elaboración propia a partir del SharePoint de Excelencia Operacional – Planta Maceo.*

### 15.3. Dimensión Organizacional – 5S, Standard Works y Cultura.

En el ámbito organizacional, las auditorías 5S evidenciaron mejoras significativas en todas las áreas críticas. El puntaje promedio pasó de 65% a 89%, lo que representa un incremento de 24 puntos porcentuales.

**Tabla 6**

*Indicadores Clave Antes vs Después.*

KPI	Antes	Después	Unidad
Puntaje Promedio 5S	65	89	%
Reprocesos SW	15	5	%
Paros Imprevistos Prom. Mensual	3.2	2.7	#/mes

Coste ACPM (26 sem)	3.750.000.000	3.675.000.000	COP
Ahorro ACPM (26 sem)	0	75.000.000	COP

*Nota. Las cifras que aparecen en la tabla son aproximaciones utilizadas para proteger la confidencialidad de la información operativa de la planta; se presentan con fines ilustrativos y analíticos. Fuente: Elaboración propia a partir del SharePoint de Excelencia Operacional – Planta Maceo.*

Los reprocesos documentales en Standard Works disminuyeron de 15% a 5% liberando horas-hombre y mejorando la trazabilidad y seguridad de los procedimientos.

#### **15.4. Impacto en Indicadores Macro y Rentabilidad**

Los resultados obtenidos impactan positivamente los indicadores macro de la planta reduciendo el costo por tonelada producida y aumentando el margen EBITDA. La mejora combinada en eficiencia operativa, económica y organizacional refuerza la competitividad y sostenibilidad de Planta Maceo.

## 16. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo de grado permitió evidenciar que la aplicación de metodologías de mejora continua y excelencia operacional en Planta Maceo genera impactos positivos, medibles y sostenibles en las dimensiones: Operativa, económica y organizacional. A través de la implementación de herramientas como Standard Works (SW), control de consumo energéticos y la metodología 5S, se lograron mejoras significativas en la eficiencia de los procesos, la reducción de desperdicios y el fortalecimiento de la disciplina operativa.

Desde el punto de vista económico, los resultados demostraron que la mejora continua puede generar ahorros sustanciales con inversiones mínimas. Los ahorros simulados alcanzaron COP \$115 millones durante el periodo analizado (equivalentes a COP 230 millones anuales), frente a costos de implementación estimados en COP \$18,5 millones. Este diferencial se tradujo en un retorno sobre la inversión (ROI) superior al 600% en seis meses, evidenciando que la optimización de recursos energéticos y la reducción de reprocesos representan estrategias rentables para la sostenibilidad financiera de la planta.

En la dimensión operativa, la estandarización de procedimientos mediante SW y el seguimiento del consumo de ACPM permitieron identificar oportunidades de ahorro energético sin afectar la continuidad productiva. La reducción del 2% en el consumo de ACPM y la disminución del 15% en las paradas imprevistas confirman que la aplicación disciplinada de prácticas Lean y Kaizen contribuye directamente a mejorar la confiabilidad operativa y la eficiencia técnica.

A nivel organizacional, la aplicación de la metodología 5S fortaleció la cultura de orden, limpieza y seguridad en el trabajo. El incremento del puntaje promedio de auditorías 5S de 65% a 89% refleja un cambio cultural orientado a la excelencia y la mejora continua. Asimismo, la reducción de reprocesos documentales del 15% al 5% muestra un avance tangible en la trazabilidad y estandarización de procesos administrativos, lo que facilita la capacitación del personal y mejora la comunicación entre áreas.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que la mejora continua no solo contribuye al cumplimiento de los objetivos operativos y económicos, sino que también consolida una cultura organizacional basada en la eficiencia, la responsabilidad y la sostenibilidad. La integración de herramientas digitales como Power BI y PowerApps se proyecta como una oportunidad para escalar los resultados y asegurar la replicabilidad de las buenas prácticas en otras plantas de la compañía.

Finalmente, este trabajo demuestra que la excelencia operacional no es un destino, sino un proceso continuo que requiere liderazgo, disciplina y compromiso colectivo. En el caso de Planta Maceo, las acciones implementadas sientan las bases para una operación más eficiente, competitiva y sostenible, alineada con los estándares globales de CEMEX y con las metas nacionales de productividad y sostenibilidad industrial.

## **17. RECOMENDACIONES**

### **17.1. Consolidar un sistema de monitoreo permanente del consumo de ACPM y energía.**

Se recomienda implementar un tablero de control (dashboard) en Power BI conectado con las bases de datos de consumo y producción. Este sistema permitirá identificar desviaciones en tiempo real, establecer alertas automáticas y garantizar la trazabilidad de las acciones correctivas.

### **17.2. Estandarizar la metodología de mejora continua en toda la planta.**

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad de las herramientas aplicadas. Por tanto, se sugiere formalizar un protocolo institucional para el mantenimiento y actualización de los Standard Works (SW), de modo que todas las áreas operen bajo lineamientos homogéneos y actualizados.

### **17.3. Mantener la cultura 5S mediante auditorías periódicas.**

La mejora en los puntajes de orden y limpieza debe sostenerse en el tiempo. Se propone realizar auditorías mensuales con responsables rotativos y reforzar la participación de los operadores mediante tableros visuales y reconocimientos al mejor desempeño 5S por área.

### **17.4. Ampliar la capacitación en herramientas digitales y analíticas.**

Para consolidar la excelencia operacional, es clave fortalecer las competencias del personal en plataformas como Excel avanzado, Power BI, PowerApps y Python. Estas herramientas pueden potenciar el análisis de datos y reducir la dependencia de procesos manuales.

**17.5. Extender la metodología a otras plantas o procesos.**

La experiencia obtenida en Planta Maceo puede servir como modelo piloto para replicar en otras plantas del grupo CEMEX. Se recomienda documentar las lecciones aprendidas, indicadores base y metodología de implementación, con el fin de generar un estándar corporativo de mejora continua.

**17.6. Fortalecer la comunicación entre áreas operativas y de soporte.**

La reducción de reprocesos evidenció la importancia del trabajo colaborativo. Se sugiere mantener reuniones de retroalimentación quincenales entre Excelencia Operacional, Producción, Mantenimiento y Seguridad Industrial, con el fin de revisar avances, dificultades y nuevas oportunidades de optimización.

**17.7. Incorporar indicadores de sostenibilidad ambiental.**

Además de los indicadores económicos y operativos, se recomienda incluir métricas relacionadas con reducción de emisiones, consumo de agua y huella de carbono. Esto permitirá evaluar el impacto ambiental de las mejoras implementadas y fortalecer el compromiso de CEMEX con la sostenibilidad.

**17.8. Garantizar la continuidad del Proyecto.**

Finalmente, se sugiere institucionalizar un plan de seguimiento semestral a los resultados obtenidos, asegurando la actualización de los SW, la revisión de los consumos energéticos y la consolidación de los aprendizajes dentro de los programas internos de mejora continua.

## 18. ANEXOS

# ZOMAM

**Zona Franca Especial Cementera del Magdalena Medio S.A.S**

## CERTIFICA

Que **VILLAMIZAR PINTO, SANTIAGO**, identificado con la cédula de ciudadanía N° , trabaja en nuestra compañía desde el **19 de mayo de 2025**, desempeñando actualmente el cargo de **APRENDIZ PROFESIONAL DE EXCELENCIA OPERATIVA**, devengando un salario básico mensual de **Un millón ochocientos cincuenta y un mil quinientos veinte pesos (\$1.851.520)** y su tipo de contrato es, **APRENDIZAJE**.

Cualquier información adicional será suministrada en la oficina de Recursos Humanos en el teléfono o al correo de lunes a viernes de 8:00 a 17:00 hrs. (horario: GMT- 06:00).

Se expide la presente certificación a solicitud del empleado a los **siete (07) días del mes de noviembre de 2025**.

Firma:

**Leidy Marcela Palacio Otalvaro**  
Recursos Humanos  
Planta Monterrey – Maceo, Antioquia, Colombia

## 19. BIBLIOGRAFÍA

Abreu-Ledón, R., Luján-García, D., Garrido-Vega, P., & Escobar-Pérez, B. (2018). A meta-analytic study of the impact of Lean Production on business performance. *International Journal of Production Economics*, 200, 13-25.  
<https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.03.015>

Arocena, R., & Sutz, J. (2020). The need for new theoretical conceptualizations on National System of Innovation, based on the experience of Latin America. *Economics of Innovation and New Technology*, 29(8), 814-829.  
<https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719640>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). (2024). Informe de gestión ANDI 2024. Recuperado de  
<https://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20ANDI%202024.pdf>

Bento, G., & Tontini, G. (2018). Developing an instrument to measure lean manufacturing maturity and its relationship with operational performance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 29(9-10), 977-995.  
<https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1486537>

Bento, G., & Tontini, G. (2019). Maturity of lean practices in Brazilian manufacturing companies. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(S1), S114-S128. <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1665827>

Bjørnbet, M., Skaar, C., Fet, A., & Schulte, K. (2021). Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126268. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126268>

CEMEX. (2024). Cemex presenta importantes avances operativos y de sostenibilidad en su reporte integrado 2024. Recuperado de <https://www.cemex.com/es/w/cemex-presenta-importantes-avances-operativos-y-de-sostenibilidad-en-su-reporte-integrado-2024>

CEMEX Colombia S.A. (2023). Informe de gestión 2023. Recuperado de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/78362233/10-ordinaria-JGA2024-informe-de-gestion-del-presidente-y-de-la-junta-directiva.pdf/c35da8fb-bb70-cba2-c04e-217173c22fed?t=1709247612695>

Friel, D., & De Villechenon, F. (2018). Adapting a Lean Production Program to National Institutions in Latin America: Danone in Argentina and Brazil. *Journal of International Management*, 24(2), 151-165.

<https://doi.org/10.1016/J.INTMAN.2018.03.001>

Forbes Colombia. (2020). ¿Cuál es el impacto de la industria 4.0 en las empresas colombianas?. Recuperado de <https://forbes.co/2020/05/28/tecnologia/cual-es-el-impacto-de-la-industria-4-0-en-las-empresas-colombianas/>

García-Alcaráz, J., Reza, J., Ramírez, C., Romero, J., Macías, J., Lardiés, C., & Medina, M. (2021). Lean Manufacturing Tools Applied to Material Flow and Their Impact of Economic Sustainability. *Sustainability*, 13(19), 10599.

<https://doi.org/10.3390/su131910599>

Halldórsson, Á., Gremyr, I., Winter, A., & Taghahvi, N. (2018). Lean Energy: Turning Sustainable Development into Organizational Renewal. *Sustainability*, 10(12), 4464. <https://doi.org/10.3390/SU10124464>

Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.

Innomotics. (s.f.). Soluciones digitales para la industria del cemento. Recuperado de <https://www.innomotics.com/hub/es/industries/cement/digitalization>

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

METRON. (s.f.). Optimizar la fabricación del cemento a través de la digitalización. Recuperado de <https://www.metron.energy/es/blog/optimizar-la-fabricacion-del-cemento-a-traves-de-la-digitalizacion/>

Montalbano, P., & Nenci, S. (2019). Energy efficiency, productivity and exporting: Firm-level evidence in Latin America. *Energy Economics*, 80, 496-509. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2018.03.033>

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2022). Informe de gestión administrativa 2022–2023. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10470/Avance-gestion-administrativa-2022-2023.pdf>

Ohno, T. (1998). *Toyota Production System: Beyond Large-Scales Production*. Productivity Press.

Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press.

Siemens. (s.f.). Digital solutions for the cement industry. Recuperado de <https://www.siemens.com/us/en/industries/cement-industry/digitalization.html>

Sousa, F., Canêdo-Pinheiro, M., Cabral, B., & Ferreira, G. (2020). Impact of Kaizen like Practices in the Brazilian Manufacturing Sector: Workers, Managers, Productivity. In M. Pereira & F. Leitão (Eds.), *Industry 4.0 and Advanced Manufacturing* (pp. 223-238). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0364-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0364-1_10)

Toledo, J., Gonzales, R., Lizarelli, F., & Pelegrino, R. (2019). Lean production system development through leadership practices. *Management Decision*, 57(5), 1149-1166. <https://doi.org/10.1108/MD-08-2017-0748>

TusDatos.co. (2025). ¿La industria 4.0 está transformando la economía colombiana?. Recuperado de <https://www.tusdatos.co/blog/la-industria-4-0-esta-transformando-la-economia-colombiana>

Vento, M., Alcaraz, J., Macías, A., & Loya, V. (2016). The impact of managerial commitment and Kaizen benefits on companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(5), 692-712. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2016-0021>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.

Zapata-Cantú, L., & Gonzalez, F. (2021). Challenges for Innovation and Sustainable Development in Latin America: The Significance of Institutions and Human Capital. *Sustainability*, 13(7), 4077. <https://doi.org/10.3390/SU13074077>