

Mejoramiento en los Procesos de Fabricación de Concreto en la Planta La Estrella, Antioquia

Liseth Andreina Amaya Bravo

Trabajo de grado para otorgar al título de Ingeniera Industrial

Director

William Eduardo Vargas Ruiz

Master en Dirección de Operaciones y Calidad

Tutor

Jesús Danilo Páez

Gerente de Operaciones

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de estudios industriales y empresariales

Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2025

### **Agradecimientos**

AGRADEZCO, en primer lugar, a Dios por sostenerme en los momentos más difíciles, por ser mi guía y luz en la oscuridad. Gracias por fortalecerme, formarme y acompañarme en cada etapa de este proceso. En cada miedo o duda que tuve, me ayudaste a levantarme con más fe y a seguir adelante; me demostraste que sí podía, que cada lágrima era parte de mi crecimiento, y que aun cuando las condiciones económicas no eran las mejores, siempre ponías en mi camino los recursos necesarios. Agradezco por no dejarme rendir en los exámenes, en las largas noches de desvelo tratando de comprender cada tema, y por acompañarme en cada paso, iluminando mi mente y dándome la sabiduría para superar cada prueba.

A mis padres, Ángelmiro Amaya Benavidez y Alcira Bravo Cárdenas, por apoyarme en el sueño de convertirme en su orgullo. Agradezco sus sacrificios, los días en que renunciaron a lo suyo para dármele, y su esfuerzo diario bajo el sol y la lluvia para brindarme lo necesario. Este logro es también de ustedes, porque gracias a su entrega hoy puedo decir con orgullo que su hija es ingeniera.

A mis abuelos, Matilde Cárdenas y Jorge Bravo, quienes siempre estuvieron pendientes de mí y me apoyaron en silencio, incluso en pequeños gestos como aquellas veces en que me dieron dinero a escondidas o me regalaron palabras de aliento. A mi tío, Rafael Bravo, por motivarme a no rendirme y a confiar en mis capacidades. A todos los familiares que fueron mi apoyo y me impulsaron a sacar adelante esta meta, como mi tía Oliva Amaya.

A mi hermano, Wilfer Amaya, quien ha sido mi motor y razón para ser ejemplo. Hoy me corresponde apoyarte a ti en la construcción de tus propios sueños.

A mi amiga, Mileidy Morales, por enseñarme el verdadero valor de la amistad y la hermandad sin lazos de sangre. Gracias por llegar en el momento preciso, llenar mi vida de alegría, consejos y compañía. Tu apoyo me demostró que nunca estuve sola.

Esta meta no es únicamente mía; es un pedacito de cada uno de ustedes. Gracias por ser parte de este logro.

Mi gratitud también para mi tutor, William Vargas, por su guía, acompañamiento y apoyo constante durante este proceso. Sus consejos, paciencia y experiencia fueron fundamentales para que pudiera culminar esta etapa de mi vida. Gracias por creer en mí.

Finalmente, me agradezco a mí misma por la fortaleza y resiliencia que me acompañaron en este camino. Este título representa la lucha silenciosa de una joven que decidió estudiar Ingeniería Industrial a pesar de las dificultades y los miedos.

Me enorgullece haber enfrentado días y noches en los que, aun con el corazón roto, debía preparar exámenes, asistir a clases de siete materias y, como auxiliar docente, impartir tutorías, calificar exámenes y talleres. Entre el cansancio y las lágrimas, seguí adelante. Renuncié a comidas, horas de descanso y momentos de tranquilidad, pero jamás a mis metas. Con lágrimas en los ojos avancé y lo logré. Por eso me admiro y me siento profundamente orgullosa: a pesar de todas las responsabilidades, nunca perdí una asignatura y siempre mantuve un desempeño académico estable, avanzando sin retrasos.

## Contenido

Introducción .....	13
1 Objetivos .....	17
1.1 Objetivo general .....	17
1.2 Objetivos específicos .....	17
2 Marco Referencias .....	18
2.1 Marco de antecedentes.....	18
2.2 Marco teórico.....	19
2.2.1 Teoría de la calidad total .....	19
2.2.2 Teoría lean manufacturing .....	20
2.2.3 Teoría six sigma .....	22
3 Metodología.....	24
3.1 Tipo de investigación.....	24
3.2 Enfoque.....	24
3.3 Herramientas de recolección de información .....	25
3.4 Análisis de la información.....	26
4 Diagnóstico Inicial .....	28
4.1 Indicadores de producción.....	28
4.1.1 Porcentaje de utilización por m <sup>3</sup> /día.....	36
4.1.2 Tiempo de ciclo por lote.....	38
4.2 Indicadores de rentabilidad.....	43

4.2.1	Costos por paradas no planificadas .....	49
4.3	Segmentación del problema.....	50
5	Plan de mejora.....	64
5.1	Mantenimiento preventivo de las mixer .....	83
5.1.1	Planear .....	84
5.1.2	Hacer .....	86
5.1.3	Verificar .....	90
5.1.4	Actuar .....	91
5.2	Mantenimiento correctivo del desperdicio de concreto en mezcladora mixer .....	93
5.2.1	Planear .....	95
5.2.2	Hacer .....	97
5.2.3	Verificar .....	98
5.2.4	Actuar .....	100
5.3	Chispeo en embudos de transferencia .....	104
5.4	Gestión de escombros .....	107
5.5	Gestión de inventario de pigmentos y aditivos.....	111
6	Reformulación del plan de mejora escalado a las otras plantas .....	116
6.1	Mantenimiento correctivo en mezcladora mixer .....	116
6.1.1	Contexto y problemática general.....	116
6.1.2	Objetivo general .....	116
6.1.3	Metodología (Ciclo PHVA) .....	117
6.2	Reducción del chispeo en embudos de transferencia .....	119

6.2.1	Contexto y problemática general.....	119
6.2.2	Objetivo general .....	119
6.2.3	Metodología aplicada .....	119
6.2.4	Solución técnica propuesta.....	120
6.3	Gestión y revalorización de escombros .....	121
6.3.1	Contexto .....	121
6.3.2	Objetivo general .....	121
6.3.3	Antecedentes .....	121
6.3.4	Metodología .....	122
6.4	Mejora de inventario de pigmentos y aditivos.....	123
6.4.1	Contexto .....	123
6.4.2	Objetivo.....	123
6.4.3	Metodología .....	123
7	Conclusiones .....	125
8	Recomendaciones .....	127
	Referencias bibliográficas .....	129

**Lista de Tablas**

Tabla 1	Detalle de causas de desperdicio. ....	50
Tabla 2	Matriz dofa de la planta La estrella.....	55
Tabla 3	Secuencia 5 Porqués .....	56
Tabla 4	Temas emergentes y frecuencia relativa.....	57
Tabla 5	Estadísticos de dispersión del desperdicio mensual (m <sup>3</sup> ) .....	62
Tabla 6	Incidentes 2024 por fallas mecánicas en mixers. ....	68
Tabla 7	Incidentes 2025 por fallas mecánicas en mixers. ....	70
Tabla 8	Identificación de causa raíz del chispeo .....	75
Tabla 9	Inventario de materia prima acumulada. ....	79
Tabla 10	Identificación de causa raíz de la acumulación de materia prima .....	82
Tabla 11	Tiempos de ciclos presentados por la mixer intervenida.....	91
Tabla 12	Registro de mixers intervenidas .....	100
Tabla 13	Registro del desperdicio generado después de la intervención .....	101
Tabla 14	Comparativo de costos generados por el desperdicio.....	102
Tabla 15	Costos de limpieza de eliminación de material generado por el chispeo .....	107
Tabla 16	Registro de salida del inventario acumulado.....	111

### Lista de Figuras

Figura 1	Producción m <sup>3</sup> /día enero 2025.....	29
Figura 2	Producción m <sup>3</sup> /día febrero 2025.....	30
Figura 3	Producción m <sup>3</sup> /día Marzo 2025.....	31
Figura 4	Producción m <sup>3</sup> /día abril 2025.....	32
Figura 5	Producción m <sup>3</sup> /día mayo 2025.....	33
Figura 6	Producción m <sup>3</sup> /día junio 2025.....	34
Figura 7	Producción m <sup>3</sup> /día promedio 2025.....	35
Figura 8	Tiempos de ciclo enero 2025.....	38
Figura 9	Tiempos de ciclo febrero 2025.....	39
Figura 10	Tiempos de ciclo marzo 2025.....	40
Figura 11	Tiempos de ciclo abril 2025.....	41
Figura 12	Tiempos de ciclo mayo 2025.....	42
Figura 13	Tiempos de ciclo junio 2025.....	43
Figura 14	Volumen concreto desperdicio por responsable.....	52
Figura 15	Parámetros de la carta de control del desperdicio mensual.....	53
Figura 16	Diagrama de ISHIKAWA.....	60
Figura 17	Pareto de causas de desperdicio de concreto.....	63
Figura 18	Identificación de problemáticas presentes en la planta.....	64
Figura 19	Registro fotográfico del desgaste en los canales de carga.....	72
Figura 20	Material particulado adherido a las estructuras cercanas del punto de cargue.....	73
Figura 21	Diagrama de Ishikawa aplicado en la identificación de causas del chispeo.....	74
Figura 22	Evidencia de escombros presentes en la planta.....	77
Figura 23	Pruebas de cilindros, muestras de asentamiento y residuos del lavado de mixers.....	77
Figura 24	Salida de escombros primer semestre 2025.....	78
Figura 25	Registro histórico del inventario retenido.....	80
Figura 26	Diagrama de Ishikawa sobre las causas de la acumulación de materia prima.....	81
Figura 27	Mantenimiento preventivo PM1.....	86
Figura 28	Mantenimiento preventivo PM2.....	87
Figura 29	Mantenimiento preventivo PM3.....	88

Figura 30	Mantenimiento preventivo PM4.....	89
Figura 31	Desperdicios generados durante el cargue del producto .....	94
Figura 32	Cotización realizada en ETM S.A.S.....	96
Figura 33	Limpieza y preparación del canal de la mixer.....	98
Figura 34	Inserción de la lámina de contención 1 .....	98
Figura 35	Inserción de la lámina de contención 2 .....	99
Figura 36	Acople de la lámina en el tubo de transferencia.....	99
Figura 37	Chispeo generado en el punto de transferencia .....	104
Figura 38	Extensión aplicada en el embudo .....	105
Figura 39	Evidencia de la reducción de chispeo.....	106
Figura 40	Salida de escombros a reprocesar.....	108
Figura 41	Registro de escombros generados en julio 2025 .....	109
Figura 42	Identificación de los productos represados en el inventario.....	114
Figura 43	Seguimiento de los inventarios 1 .....	115
Figura 44	Seguimiento de los inventarios 2.....	115

**Lista de Apéndices**

Apéndice A.	Cumplimiento de objetivos .....	134
Apéndice B.	Evidencias cuantitativas y fotográficas .....	136

## Resumen

**Título:** Mejoramiento en los Procesos de Fabricación de Concreto en la Planta La Estrella, Antioquia.

**Autor:** Liseth Andreina Amaya Bravo

**Palabras Clave:** Productividad, desperdicio, mejora continua, concreto, eficiencia operativa, gestión de recursos

**Descripción:** El plan de mejora se desarrolló en la planta de concreto de CEMEX La Estrella (Antioquia), donde la productividad alcanzaba 178 m<sup>3</sup>/día frente a una meta de 300 m<sup>3</sup>/día. El estudio analizó los factores que afectaban la eficiencia, resaltando el desperdicio de materiales (<4%), que generaba sobrecostos y menor rentabilidad. Se identificaron pérdidas durante la carga de mixers, desbordes, pedidos cancelados y un manejo inadecuado de insumos de alto costo.

Con un enfoque cuantitativo y descriptivo, basado en registros históricos, observación directa y mediciones en campo, se diagnosticaron las causas raíz y se propuso un plan de mejora evaluado mediante una prueba piloto, la cual evidenció reducción de desperdicios y aumento de productividad. Los resultados sientan las bases para un modelo replicable que promueve la mejora continua y una gestión más eficiente de los recursos.

---

\* Trabajo de Grado

\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de estudios industriales y empresariales.

### Abstract

**Title:** Improvement in Concrete Manufacturing Processes at the La Estrella Plant, Antioquia

**Author:** Liseth Andreina Amaya Bravo

**Key Words:** Productivity, waste, continuous improvement, concrete, operational efficiency, resource management

**Description:** The improvement plan was implemented at the CEMEX concrete plant in La Estrella, Antioquia, where daily productivity reached 178 m<sup>3</sup>/day, below the 300 m<sup>3</sup>/day target. The study analyzed the main factors affecting efficiency, highlighting material waste (<4%), which caused additional costs and reduced profitability. Losses were identified during mixer loading, overflows, canceled orders, and inadequate management of high-cost inputs.

Using a quantitative and descriptive approach based on historical records, direct observation, and field measurements, the root causes were identified and a pilot improvement plan was tested, showing potential to reduce waste and increase productivity. The results provide the foundation for a replicable model that promotes continuous improvement and more efficient resource management.

---

\* Bachelor Thesis

\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies.

Advisor: William Eduardo Vargas Ruiz

## **Introducción**

La industria de la construcción se presenta como uno de los sectores que mayor interés le brinda a la conectividad y el cumplimiento de los estándares de calidad, reconociendo la importancia que posee la mejora de los procesos así como la gestión de indicadores relevantes para el desempeño, principalmente aquellos que se enfocan en las plantas de producción de concreto, aspectos como la logística, calidad y aprovechamiento de los recursos, siendo estos puntos esenciales para mantener una rentabilidad y sostenibilidad positiva en la empresa, tal como lo señalan Juran y De Feo (2010), al resaltar que el papel estratégico de la mejora continua en la consolidación de operaciones rentables.

Por consiguiente, el presente trabajo estableció como escenario la Planta La Estrella, propiedad de la empresa CEMEX, la cual da prioridad a conservar un equilibrio entre la creciente demanda de sus productos y la reducción del volumen de desperdicios generados en la producción, dando priorizando la mejora de sus procesos internos. En este sentido, el objetivo de este trabajo consistió en diagnosticar el estado actual de la planta, mediante un análisis de diversos indicadores de productividad y rentabilidad, revisando sus procesos operativos.

De igual forma, se identificaron los factores críticos que determinan la productividad y calidad del concreto producido, analizando las incidencias que poseen las mixers (vehículos transportadores de la mezcla de concreto) en el desempeño, así como el manejo de las materias primas. Ante esto, el análisis realizado se centró en la revisión de los procesos operativos llevados a cabo en la planta, logrando identificar áreas que requerían mejora, promoviendo el perfeccionamiento de la producción y la calidad del concreto, garantizando la eficiencia y competitividad de la planta.

Con base en lo anterior, diversos autores han enfatizado en que la adopción de métodos sistemáticos es necesaria para evaluar la eficiencia de plantas industriales, lo cual puede ser aplicado al sector concretos para proponer intervenciones de mejora (Chen et al., 2010; Babalola et al., 2019). Dicho lo anterior, estos autores destacan la necesidad de medir variables clave como el tiempo de mezclado, la confiabilidad de los equipos, las pérdidas por rechazos de producto y el costo acumulado por reprocesos. Bajo esta premisa, el presente proyecto integró un enfoque descriptivo, con una base cuantitativa que ayudó a recopilar datos representativos de la operación, permitiendo la construcción de un panorama sólido sobre la situación de la Planta La Estrella; de este modo, se concibió un conjunto de objetivos encaminados no solo a diagnosticar con precisión la realidad productiva, sino también a identificar y priorizar las causas que generan cuellos de botella y elevados costos de no calidad, entendidos como los gastos derivados de retrabajos, reclamos y volúmenes desaprovechados de concreto que, constituyen una amenaza directa a la competitividad.

Por lo tanto, este trabajo contribuye en la formulación de una propuesta de mejora sustentada mediante lo evidenciado en el diagnóstico previo, enfocando dicha propuesta en la reducción de desperdicios, manejo óptimo de inventarios, aplicación de metodologías que promocionan la economía circular, y la aplicación de soluciones enfocadas en la reducción de sobre costos y desperdicios. Llevándose a cabo una prueba piloto que facilitó la medición de los efectos generados por los cambios aplicados en la planta, identificando con ello fortalezas y debilidades de la intervención, permitiendo con ello el ajuste del plan de mejora teniendo como base los resultados obtenidos. Lo anterior, se justifica según la filosofía de mejora continua planteada por Deming (1982), donde cada ciclo de intervención, medición y análisis ofreció oportunidades para el aprendizaje organizacional y la consolidación de la cultura de calidad.

Asimismo, la planta intervenida pertenece a la empresa fabricante de concreto CEMEX y se encuentra ubicada en el municipio La Estrella del departamento de Antioquia, posee una capacidad nominal de 300 m<sup>3</sup>/día, sin embargo, el promedio de producción diaria registrado durante el primer semestre del 2025 fue de 172 m<sup>3</sup>/día lo que representa el 57,35% de su capacidad diaria total, este resultado no obedece a limitaciones de productividad, sino a la cantidad de pedidos solicitados y efectivamente realizados en dicho periodo, donde la planta ha mantenido un promedio superior al 95% de cumplimiento en los pedidos, resaltando la eficiencia frente a la demanda presentada.

No obstante, la planta no es exenta de diversas problemáticas operativas entre ellas, el desperdicio, lo que hace referencia a pérdida de material que no genera un valor al producto final, aunque estos no superan el 4% de la producción, llevar a cabo su reducción se representa como una mejora relevante para la rentabilidad de la empresa. Adicionalmente, actividades como el ajuste de inventarios y el seguimiento del estado de las mixer inciden directamente en los costos de operación y en la calidad del servicio, afectando la satisfacción del cliente.

En este contexto, mediante el diagnóstico aplicado se logró identificar que en los procesos de producción se generan diversos desperdicios, aunque estos se presentan en pequeñas cantidades, al analizarlos a largo plazo representan un valor significativo en material y sobrecostos adicionales, ya sean por disposición de residuos, pérdida de material o limpieza. Estos desperdicios derivan de actividades como la carga de las mezcladoras donde se presentan chispeos o goteos, desbordes de concreto que no llega a ser recuperado, pedidos cancelados debido a fallas mecánicas en las mixers. Además, de otras problemáticas como la gestión inadecuada de inventarios, evidenciándose sobre almacenamiento de materia prima y sobrecostos por eliminación de escombros acumulados.

Ante dicho escenario, la finalidad de este trabajo es diseñar un plan de mejora que permita mejorar diversos escenarios que afectan tanto la rentabilidad como la productividad de la planta

La Estrella. Para ello, se planteó diagnosticar el estado actual de la planta a través del análisis de datos históricos de la misma, identificando los factores que afectan la rentabilidad, formulando una propuesta de mejora enfocada en la reducción de desperdicios, e implementando una prueba piloto que permitió obtener resultados preliminares con los cuales se ajustaron las estrategias según las necesidades detectadas.

Por lo tanto, este trabajo se justifica por la relevancia que posee el uso eficiente de los recursos mediante la mejora de los procesos que garantiza la calidad del producto, así como la minimización de sobre costos y el cumplimiento de los estándares del cliente. De igual forma, el plan de mejora constituye modelo replicable en cada una de las plantas de la empresa, permitiendo la reducción de los sobrecostos identificados fortaleciendo así la operatividad y competitividad de CEMEX. Desde el punto de vista social, la eficiencia de procesos industriales fomenta un uso más responsable de los recursos y una reducción del impacto ambiental asociado al desperdicio.

Por ende, se adoptó un enfoque metodológico cuantitativo y descriptivo, enfocada en establecer la relación de los problemas identificados con la rentabilidad y la productividad, realizando la recolección y análisis de datos recolectados de los registros históricos, la observación directa y registros tomados en campo, lo que permitió detectar las causas raíz de las problemáticas identificadas. Seguidamente, se diseñó e implementó el plan de mejora, cada una de ellas fundamentadas en los postulados de Deming (1982), Ishikawa (1985) y Womack y Jones (1996), quienes coinciden en la necesidad de basar las decisiones de mejora en datos confiables y en la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de mejoramiento de recursos en la fabricación de concreto por medio del análisis y la comparación de diferentes factores que influyen en su elaboración, con el fin de mejorar los indicadores de productividad y rentabilidad de la planta La Estrella, Antioquia.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual de la planta mediante análisis de indicadores clave y revisión de procesos operativos y administrativos.
- Identificar los factores críticos que afectan la producción, incluyendo el desempeño de los mixers y el manejo de materias primas.
- Formular una propuesta para la mejora de los procesos de fabricación y reducción de los desperdicios.
- Implementar una prueba piloto que permita la obtención de resultados preliminares y el ajuste de la propuesta planteada según las necesidades de la planta.

## 2 Marco Referencias

### 2.1 Marco de antecedentes

Los antecedentes presentados en este trabajo de grado enfatizan la relevancia que posee la mejora de los procesos de producción en cada uno de los sectores económicos, donde la implementación de mejoras en aspectos tanto físicos, mecánicos y químicos, con la finalidad de abarcar cada una de las necesidades en calidad y competitividad, por ello, en el sector de la producción de concreto, se puede evidenciar una mejora constante en las metodologías empleadas, enfocadas especialmente en el compromiso con la sostenibilidad de los recursos y con el incremento de la durabilidad y resistencia de los productos finales.

En primer lugar, Londoño (2022) llevó a cabo una estandarización de los procesos de producción en una empresa comercializadora de bloques de concreto, con la finalidad de mejorar la calidad del producto. Por lo tanto, se resalta la relevancia que posee la estandarización de cada una de las etapas del proceso, abarcando desde la adquisición de la materia prima hasta la postventa. Los resultados presentados por Londoño (2022) señalan que controlar los parámetros en la producción mejora la resistencia del producto, así como su permeabilidad, facilitando actividades de supervisión lo que incrementa la productividad y legitimidad empresarial. Se concluye que la implementación de procedimientos guiados mediante un manual de mejora incentiva la reducción del desperdicio de materia prima y mejora la calidad del producto.

Por otra parte, Sánchez (2023) aborda el uso de agregados alternativos para aumentar la resistencia en el concreto mejorando las fórmulas mediante el uso de ceniza de cáscara de arroz y fibras de palmera. Asimismo, Sánchez (2023) señala que la incorporación de estos agregados agrícolas resulta eficiente en la mejora de la resistencia del concreto y, a su vez, reduciendo la huella ambiental generada por esta industria.

Entre los antecedentes revisados se encuentra la investigación realizada por Carrasco y Espinoza (2021), donde se implementó un agregado grueso reciclado y vidrio triturado, con lo que se mejoraron las propiedades mecánicas del concreto, identificándose que dicha combinación realizada de forma adecuada mejora considerablemente la resistencia a la compresión, así como la flexión y tracción del concreto, contribuyendo a la economía circular en este sector.

Por su parte, Cabrera (2022) realizó un análisis del uso de adoquines de concreto en la pavimentación de la urbanización Villareal, Pupiales, Nariño, enfatizando en el desempeño que se logra con estos materiales frente a métodos tradicionales, generando una mayor durabilidad y reduciendo el tiempo de instalación de los adoquines prefabricados presentándose como una opción eficiente para proyectos viales.

Finalmente, Quispe (2024) introduce la adición de escorias de cobre y fibras de aluminio en el concreto para pavimentos rígidos, demostrando cómo estos materiales pueden mejorar la trabajabilidad y la densidad del concreto. Este estudio resalta el uso eficiente de los desechos industriales, ampliando las posibilidades de innovación en los procesos constructivos.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Teoría de la calidad total**

La teoría de la calidad total tiene sus inicios a mediados del siglo XX y recibió aportes de autores como W. Edwards Deming, Joseph M. Juran y Kaoru Ishikawa. Según Deming (1982), la calidad no depende únicamente de la inspección final de los productos, sino también de la aplicación de una metodología transversal en todas las etapas del proceso productivo. En este marco se presenta el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), cuyo objetivo es fomentar la mejora

continua, asegurando que las brechas y problemáticas sean detectadas e intervenidas a tiempo y generen oportunidades de perfeccionamiento.

Deming (1982) destaca que, aproximadamente, el 94 % de los problemas de calidad en una empresa están relacionados con fallas del sistema, mientras que solo el 6 % se derivan de actuaciones individuales de los operarios; esta estadística subraya la necesidad de implementar mejoras en los procesos más que buscar culpables individuales. Por su parte, Juran y De Feo (2010) promueven la implementación de métricas claras —como el número de defectos por millón de oportunidades— y el uso de herramientas estadísticas, tales como las cartas de control y el diagrama de Pareto, para medir el avance de la calidad en tiempo real.

Ishikawa (1985) introdujo el diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de espina de pescado, que permite realizar un análisis sistemático de las causas que generan problemas. Esta herramienta facilita la identificación de factores que provocan defectos y favorece la recopilación de datos cualitativos, proporcionando un panorama integral de las variaciones en los procesos y de las áreas que requieren intervención, involucrando al personal y a las distintas unidades organizacionales.

### **2.2.2 Teoría lean manufacturing**

La teoría Lean Manufacturing, desarrollada y difundida por Womack y Jones (1996) a partir de los estudios sobre el sistema de producción de Toyota, propone la eliminación selectiva de desperdicios (*muda*, en japonés) y la optimización del flujo de valor. Los autores reconocen siete categorías clásicas de desperdicio —sobreproducción, espera, transporte, exceso de

procesamiento, inventario, movimiento y defectos— y, en ocasiones, añaden un octavo desperdicio relacionado con el subaprovechamiento del talento humano.

Lean pone énfasis en la identificación y reducción de los tiempos de ciclo (cycle time), en el incremento del rendimiento global de los equipos (Overall Equipment Effectiveness, OEE) y en la medición del lead time; cada reducción en estos indicadores se traduce en mejoras de productividad y en menores costos por unidad. La herramienta Value Stream Mapping (VSM), o Mapeo del Flujo de Valor, permite representar gráficamente el flujo del proceso y distinguir las etapas que agregan valor de las que no lo hacen.

Aplicado al ámbito de la empresa CEMEX, Lean Manufacturing implica, por ejemplo, controlar el tiempo de mezclado y transporte para evitar la pérdida de asentamiento, y ajustar la demanda de producción (tanto en volumen como en frecuencia) para no sobreproducir y acumular concretos que se endurecen antes del uso. Además, la técnica de las 5S (clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener) fortalece la eficiencia en la planta de producción y reduce la probabilidad de desperfectos o incidentes mecánicos.

Womack y Jones (1996) destacan que la clave de Lean radica en el Kaizen o mejora incremental continua, que se fundamenta en grupos de trabajo multidisciplinares capaces de analizar cada eslabón de la cadena y de transformarlo en un proceso más esbelto (lean) y flexible. Con ello, se disminuyen los tiempos ociosos y se logra un flujo de producción alineado con las necesidades del cliente, evitando la sobrecarga de recursos o la falta de insumos en los momentos críticos.

### 2.2.3 Teoría six sigma

Six Sigma surge a finales de los años ochenta y principios de los noventa; organizaciones como Motorola fueron pioneras en su aplicación. Entre sus principales promotores se encuentran Mikel Harry y Bill Smith. De acuerdo con Harry y Schroeder (2000), la metodología parte de una meta estadística: alcanzar un nivel de calidad en el que la variabilidad del proceso esté lo suficientemente controlada para que los defectos no superen aproximadamente 3.4 DPMO (defectos por millón de oportunidades).

El núcleo de Six Sigma es el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), ampliamente adoptado en múltiples industrias. Cada fase aborda tareas técnicas específicas:

- Definir: Delimitar el problema y las metas del proyecto, estableciendo especificaciones y alcance.
- Medir: Recopilar datos cuantitativos del proceso (por ejemplo, resistencia promedio del concreto o tiempo de fraguado) para estimar la capacidad del proceso.
- Analizar: Emplear herramientas estadísticas (ANOVA, regresión, histogramas, etc.) para identificar las causas raíz de los defectos.
- Mejorar: Desarrollar e implementar planes de acción que reduzcan la variabilidad (por ejemplo, optimizar la relación agua-cemento o la dosificación de aditivos).
- Controlar: Mantener las mejoras mediante sistemas de seguimiento, cartas de control y la estandarización de nuevos procedimientos.

Esta técnica permite el examen del comportamiento de la resistencia a compresión y determinación de la absorción de agua, como también de la efectividad del curado y otros aspectos relevantes que nos diese el detalle de la cuantificación de cada variable para delimitar exactamente

los límites de control y los objetivos sigma, tratando de incrementar los rechazos por fuera de especificación y abaratando costes de reprocesos. Como complemento, asociado al adiestramiento de “Belt” (Cintas: Green Belt, Black Belt, etc.) supondría que existe una estructura formal de roles y niveles de conocimiento en la organización, generando una cultura organizacional centrada en la aplicación correcta de métodos estadísticos y erradicación sistemática de desperdicios y defectos.

### 3 Metodología

#### 3.1 Tipo de investigación

El trabajo de grado adoptó un carácter **cuantitativo**, pues se fundamentó en la obtención de mediciones objetivas sobre variables claramente definidas, relacionadas con indicadores de desempeño de la planta (como volúmenes de producción, porcentajes de desperdicio, costos de reproceso, tiempos de ciclo del mezclado y transporte, entre otros) en un esfuerzo por delimitar numéricamente el comportamiento del sistema y detectar con precisión los puntos donde se generan las mayores pérdidas; por consiguiente, se llevaron a cabo mediciones sistemáticas y estructuradas con el propósito de establecer correlaciones o tendencias que expliquen la situación actual, alineándose a la perspectiva planteada por Yin (2014) cuando señala la necesidad de aislar los datos relevantes para responder a las hipótesis y preguntas de la investigación. Este carácter cuantitativo se evidencia en la utilización de fuentes documentales (registros de producción), bases de datos internas y mediciones directas que fueron procesadas estadísticamente, reforzando la objetividad y reproducibilidad del estudio. En concordancia con Juran y De Feo (2010), se priorizó la gestión de la variabilidad del proceso a través de indicadores estadísticos que permiten detectar las causas raíz de los defectos, siendo la toma de datos en campo la base para la formulación de gráficas de control y la evaluación de la productividad en línea, lo que se hacía imprescindible en una investigación de corte ingenieril que persigue elevar la calidad de la operación.

#### 3.2 Enfoque

El enfoque **descriptivo** que se adoptó se caracteriza por proporcionar un retrato detallado de las circunstancias presentes en la planta, lo que significa que se analizaron los procesos operativos y administrativos tal como se hallaban, sin someterlos inicialmente a grandes alteraciones o

experimentaciones complejas, con el fin de reflejar fielmente las fortalezas y debilidades en cada eslabón del sistema productivo. Este enfoque se materializó en la clasificación y presentación de indicadores que se recopilaban a lo largo de un periodo determinado, examinando variables como la cantidad mensual de concreto producido, la incidencia de fallas en los mixers, el costo total imputado al desperdicio y el porcentaje de mezclas rechazadas por problemas de calidad; luego, se incluyó la ejecución de la prueba piloto, que, enmarcada también dentro de la perspectiva descriptiva y cuantitativa, permitió aplicar medidas de mejora de forma controlada para registrar si existió una reducción significativa en los desperdicios o un aumento en la eficiencia de producción. Este proceso se apoya en la necesidad de contar con datos repetibles y comparables, ya que solo mediante la observación empírica y la medición confiable es posible argumentar conclusiones que, en la ingeniería, deben basarse en resultados tangibles.

En concordancia con los postulados de Womack y Jones (1996) acerca de la relevancia de eliminar desperdicios y optimizar el flujo de trabajo, el enfoque descriptivo incorporó la documentación de los procesos, clasificando las etapas en las cuales se agregue o no valor, con la intención de comprender claramente cómo transcurren las operaciones de mezcla, transporte, vertido, control de calidad, facturación y seguimiento administrativo, entre otros aspectos, pues todo ello repercute en la producción de la planta. Se espera que este panorama integral facilite la posterior formulación y evaluación de acciones concretas que incidan sobre las causas identificadas de ineficiencia o defectos.

### **3.3 Herramientas de recolección de información**

La propuesta metodológica contempló la utilización de varias herramientas con el propósito de capturar datos cuantitativos, reflejando en cifras el desempeño real de la planta, así como la

efectividad de las medidas de mejora implementadas en la prueba piloto. En primer lugar, se llevó a cabo la **revisión documental**, que incluyó el análisis de los registros históricos de producción y reportes de desperfectos o rechazos de lotes de concreto; estos documentos permitieron construir indicadores de productividad por periodo, cuantificar el volumen de desperdicios, los costos y determinando si existían patrones estacionales o cíclicos en la planta.

En segundo lugar, se hizo uso de la **observación directa estructurada**, lo que conllevó a la elaboración de listas de verificación donde se plasmaron los criterios para evaluar la condición de los mixers, la secuencia en la operación de mezclado, el cumplimiento de tiempos de carga y descarga, y la manera en que se coordinan las áreas de producción con las de administración; se estimó que este procedimiento brindara información valiosa sobre la forma en que se ejecutan las tareas y su correspondencia con los protocolos establecidos, detectando brechas y carencias que inciden en la calidad final o en la generación de desperdicios. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2018), la observación estructurada resulta idónea cuando se tiene claridad sobre los aspectos a vigilar y se requiere uniformidad en el criterio con el que se registra la información.

### **3.4 Análisis de la información**

El análisis se realizó en dos fases principales: la primera de diagnóstico y la segunda de evaluación de resultados de la prueba piloto. En la **primera fase**, la información proveniente de los registros históricos y la observación directa se sistematizó en una base de datos elaborada con software estadístico (Excel), organizando las variables en tablas que reflejaban los periodos de tiempo analizados (Hernández Sampieri et al., 2018). Se aplicaron medidas descriptivas como la media, la desviación estándar y la varianza para cuantificar la dispersión en parámetros como la producción, el tiempo de mezcla y la incidencia de fallas en los equipos; además, se elaboraron

gráficos que permitieron determinar si los procesos se encuentran bajo control estadístico o si exhibían señales de variabilidad excesiva (Juran & De Feo, 2010).

En esta misma fase, se realizó un cruce entre variables, comparando el tiempo de uso de cada mixer con su probabilidad de falla, o relacionando el porcentaje de desperdicio con los turnos laborales o las condiciones climáticas; de esta forma, se buscó identificar correlaciones que sugieran hipótesis sobre las causas raíz de los problemas. Esta etapa de análisis descriptivo constituyó la base para diseñar la propuesta de mejora, definiendo qué ajustes se aplicarán en la secuencia de producción, en la logística o en la asignación de recursos, siguiendo la lógica de la mejora continua establecida por Deming (1982).

La **segunda fase** consistió en la valoración de los resultados obtenidos tras implementar la propuesta de mejora de forma restringida a un ámbito piloto, lo cual conllevó la recolección de datos en campo mientras se ejecutaban los ajustes en los procedimientos de mezclado, en la supervisión de los mixers y en la coordinación administrativa; esos datos se procesaron, tal como en la fase anterior, para determinar si existía una disminución significativa en los volúmenes de desperdicio, así como un aumento en la productividad neta. Se elaboraron tablas comparativas que muestren las diferencias antes y después de la intervención, y se aplicaron contrastes estadísticos para verificar la pertinencia de las mejoras (Hernández Sampieri et al., 2018). Finalmente, se consolidó un informe de resultados que describió el impacto real de la propuesta y los ajustes necesarios para su escalamiento completo, asegurando así que la metodología cumpliera con los objetivos planteados en el proyecto.

## **4 Diagnóstico Inicial**

La planta cuenta con registros diarios, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales de producción, lo que facilita la construcción de un panorama integral. Para la elaboración del diagnóstico, se desarrollaron tres fases sucesivas y entrelazadas: (1) recopilación y depuración de datos, en la cual se contrastaron los registros diarios, semanales y mensuales con las bases crudas exportadas desde el sistema corporativo; (2) agregación multiescalar, que consiste en trasladar la granularidad diaria a periodos semanales, mensuales, semestrales y anuales para revelar tendencias ocultas; (3) análisis causal y económico del desperdicio, etapa en la que se discrimina la naturaleza de cada retorno —consumo interno, disposición en botadero, donación o reciclaje— y se valoran sus implicaciones sobre la rentabilidad. Este proceso permitió identificar tendencias en la producción y en los volúmenes de concreto rechazado o desaprovechado. Todo esto se integra a la narrativa para delimitar posibles factores de causación y cuantificar la merma económica resultante del desperdicio.

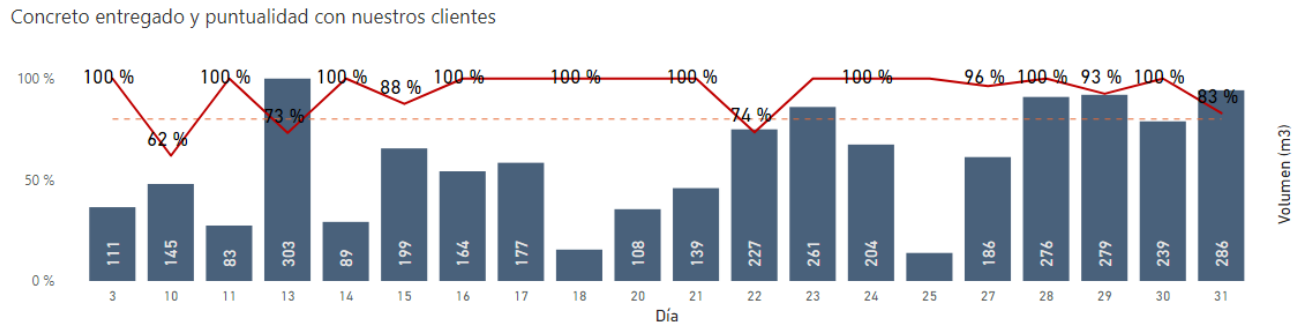
Lo anterior facilitó la construcción de un panorama general que, al ser sometido a un análisis transversal, permitió identificar tendencias en la producción y en los volúmenes de concreto rechazado o desaprovechado.

### **4.1 Indicadores de producción**

Los indicadores de producción se presentan como herramientas que permiten a las organizaciones empresariales calcular y determinar el desempeño productivo de un proceso. A continuación, se presenta la producción entre enero a junio del 2025 de la planta de concreto La Estrella – Antioquia.

Inicialmente se presenta el análisis de la producción mes a mes en términos de promedio de producción diaria, determinando así las fluctuaciones productivas durante este periodo específico.

**Figura 1 Producción  $m^3$ /día enero 2025**



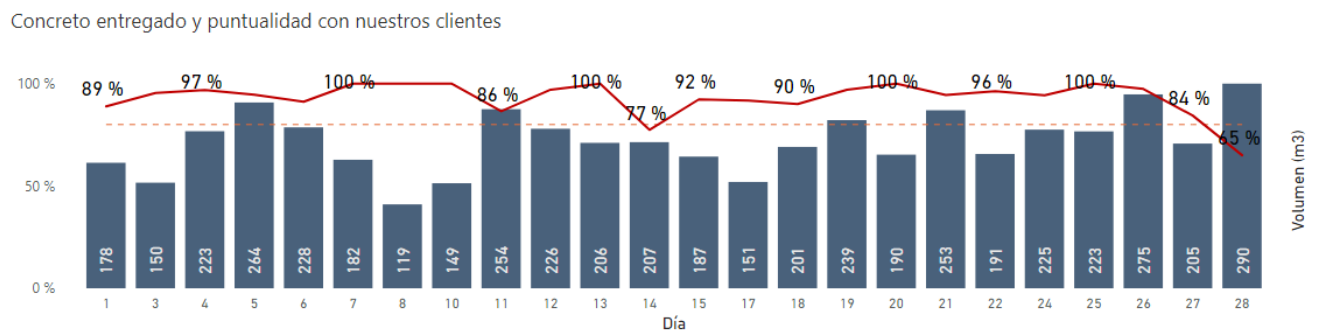
*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

En el mes de enero se registraron 20 días de producción, con una sumatoria de 3 561,5  $m^3$  de concreto durante el mes, un promedio diario de 178,1  $m^3$  y una mediana de 181,3  $m^3$ , lo que representa un ligero equilibrio en la distribución. Por otra parte, la desviación estándar registrada fue de 81,4  $m^3$ /día, con un coeficiente de variación del 45,7 %, presentándose una alta variabilidad entre cada jornada laboral. Por ello, se evidencia un rango amplio, con un mínimo de 42  $m^3$  y un máximo de 303  $m^3$ , sin presentarse ningún valor atípico según lo que refleja la regla estadística de  $1,5 \times IQR$ .

La producción diaria se concentró principalmente entre los 120 y 240  $m^3$  encontrándose entre este rango 9 de los 20 días laborados es decir el 45% de estas jornadas, el 30% consiste en volúmenes inferiores a los 120  $m^3$ , y 25 % superaron los 240  $m^3$ , registrando altos niveles de despacho.

Es relevante señalar que los días que presentaron una producción menor a los 120 m<sup>3</sup> impactaron de forma negativa en el total mensual, aportando en conjunto tan solo más de 600 m<sup>3</sup> cuando podrían haber aportado cerca de 1 000 m<sup>3</sup> si hubiesen operado a nivel medio. Esto representa una pérdida potencial de al menos 470 m<sup>3</sup> en el mes, equivalente a casi dos días completos de producción media. A nivel del desempeño total, enero ha sido un mes con una operación muy inestable con variaciones significativas del volumen diario.

**Figura 2 Producción m<sup>3</sup>/día febrero 2025**



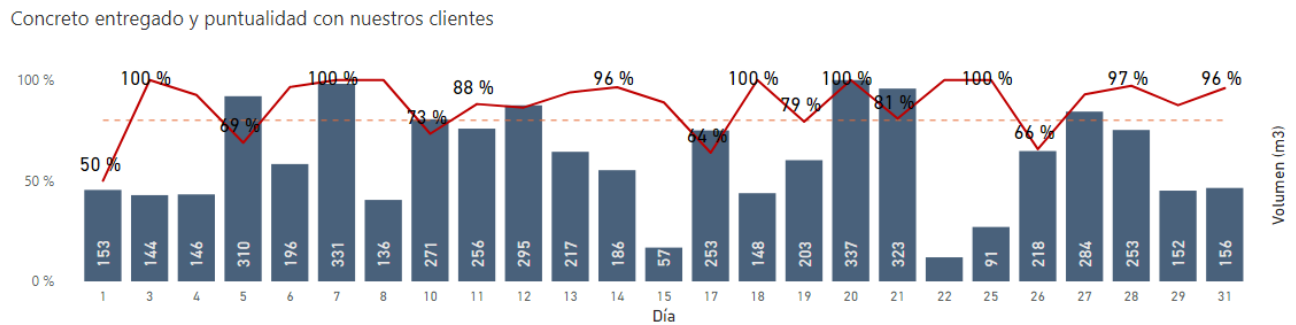
*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Seguidamente, el mes de febrero presentó una producción de 5 013,3 m<sup>3</sup> de concreto durante 24 días operativos, con un promedio diario de 208,9 m<sup>3</sup>, y una mediana registrada en 206,8 m<sup>3</sup>, lo que representa una distribución centrada, a su vez la desviación estándar disminuyó en comparación al mes anterior registrándose en 42,5 m<sup>3</sup>/día, con un coeficiente de variación del 20 %.

Asimismo, el rango tuvo como margen mínimo 119 m<sup>3</sup> y máximo de 290 m<sup>3</sup>, de igual forma ningún registro se clasificó como atípico según la regla de  $1,5 \times \text{IQR}$ . Respectivamente, se presentaron 4 días de menor producción. Por otra parte, al comparar los resultados con la capacidad nominal de la planta de 300 m<sup>3</sup> por jornada, se registran 5 días que superaron los 250 m<sup>3</sup> y uno de

ellos llegó a 290 m<sup>3</sup>, evidenciando que la planta puede llegar a su límite nominal cuando las condiciones están alineadas.

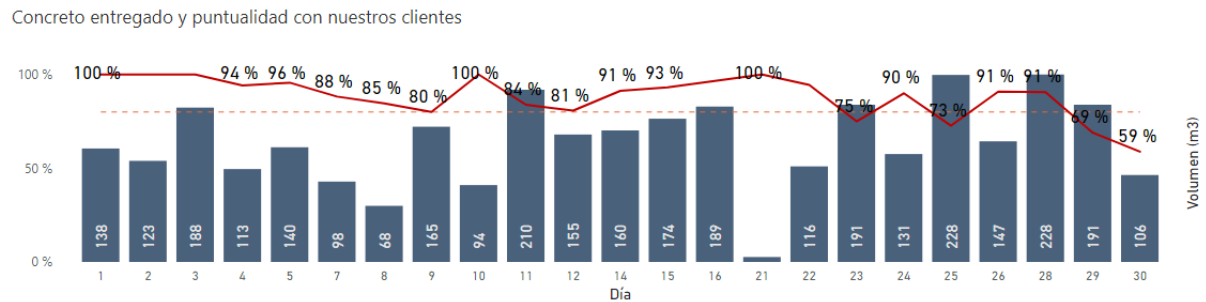
**Figura 3 Producción m<sup>3</sup>/día Marzo 2025**



*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

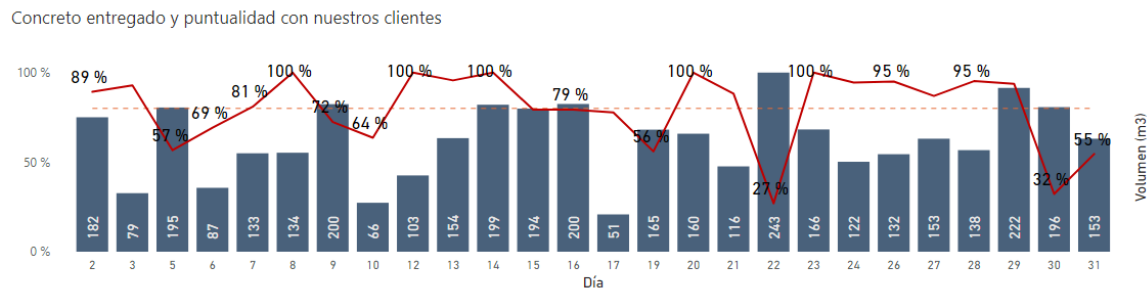
Respectivamente, para marzo se presentan 25 días laborados con una producción de 5 152,5 m<sup>3</sup> de concreto durante este mes, lo que equivale a un promedio diario de 206,1 m<sup>3</sup>, valor similar al registrado en febrero, y una mediana fue de 202,8 m<sup>3</sup>, reflejando una distribución relativamente centrada. Sin embargo, la desviación estándar registró un aumento, alcanzando 84,1 m<sup>3</sup>/día, con un coeficiente de variación del 40,8 %, aproximadamente el doble del mes anterior.

Por su parte, el rango de marzo tuvo un mínimo de 40,3 m<sup>3</sup> y un máximo de 336,8 m<sup>3</sup>, sin presentarse ningún valor atípico según la regla de  $1,5 \times \text{IQR}$ . Por lo tanto, se identifican 7 días de baja producción los cuales no superaron los 150 m<sup>3</sup>, los que posee la responsabilidad de la variabilidad que se presenta en la producción son responsables de la mayor parte de la variabilidad. Asimismo, al comparar los registros con la capacidad nominal de la planta de 300m<sup>3</sup>/día, se observa que la operación fue similar a la de febrero, alcanzando registros superiores de 250 m<sup>3</sup>/día.

**Figura 4** Producción m<sup>3</sup>/día abril 2025

*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

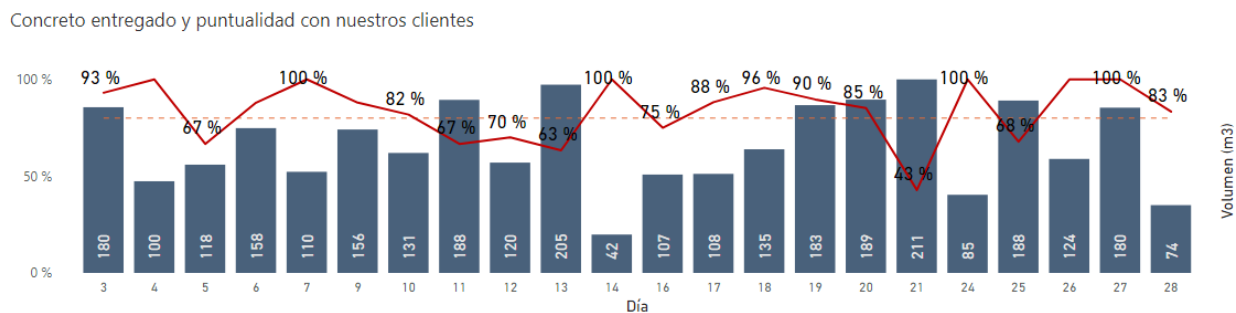
Para el mes de abril la totalidad producida fue de 3 357 m<sup>3</sup> en 23 días laborales con un promedio diario de 146 m<sup>3</sup> y una mediana de 146,8 m<sup>3</sup> sin presentarse una gran diferencia entre ambos valores, lo que indica una distribución relativamente estable. La desviación estándar fue de 53 m<sup>3</sup>/día, con un coeficiente de variación de 36 %, presentándose un rango extenso, con un mínimo de 6 m<sup>3</sup> y un máximo de 228 m<sup>3</sup>, no obstante, no se evidencia un valor atípico según regla de  $1,5 \times \text{IQR}$ , aunque operativamente el día 21 con volumen de 6 m<sup>3</sup> es claramente un caso particular. Respectivamente, al analizar cada uno de los registros se destaca 7 días que no superaron los 120 m<sup>3</sup>, es decir, ni siquiera la mitad de la capacidad nominal de la planta que es de 300 m<sup>3</sup>, si se hubiera alcanzado en estos días dicho nivel la producción se acercaría a los 3 900 m<sup>3</sup> y reduciendo el coeficiente de variación al 25 %.

**Figura 5 Producción  $m^3$ /día mayo 2025**

*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

El mes de mayo registró un total de 26 jornadas laborales con una producción de 3 939,8  $m^3$  de concreto, promediando 151,5  $m^3$  al día y una mediana de 153,4  $m^3$  lo que indica una distribución centrada, sin embargo, la desviación estándar de 48,9  $m^3$ /día consiste en un coeficiente de variación del 32 %, menor al 36 % de abril, pero por encima del 20 % registrado en febrero. El mes tuvo un mínimo de 50,5  $m^3$  y un máximo de 242,5  $m^3$ ; sin presentarse ningún valor atípico según la regla  $1,5 \times IQR$ .

Al comparar los resultados con la capacidad nominal de la planta (300  $m^3$ /día), se evidencia que siete jornadas no alcanzaron ni la mitad de la misma, lo que genera una mayor dispersión de los resultados. sin embargo, la producción evidencia una ligera recuperación en comparación con el mes anterior.

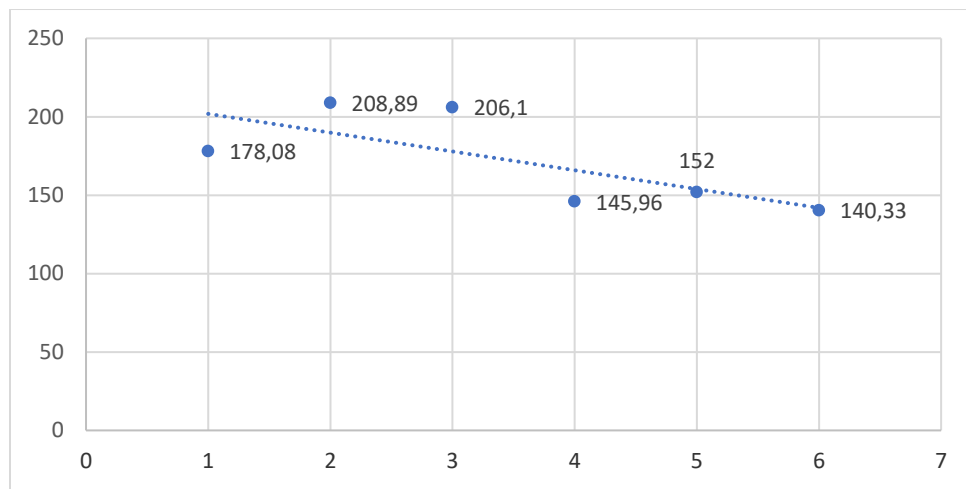
**Figura 6 Producción  $m^3$ /día junio 2025**

*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Durante el mes de junio se presentaron 22 días de producción con un total de 3 087,3  $m^3$  de concreto, con un promedio diario de 140  $m^3$  diarios y la mediana de 132,5  $m^3$  días. Estos dos valores son muy inferiores a los registrados a inicios del año. La desviación estándar de junio se elevó a 46,1  $m^3$ /día, lo que corresponde a un coeficiente de variación de 33 %.

Analizando los datos de forma trimestral, las bajas en producción muestran una tendencia baja en la producción, puesto que la media diaria ha descendido de un valor de 208  $m^3$  en febrero a 206  $m^3$  en marzo, 146  $m^3$  en abril, 152  $m^3$  en mayo y actualmente 140  $m^3$  en junio; a la vez que la variabilidad ha sido alta. Esto significa que coexisten una capacidad suficiente (el día mejor se alcanzan 210  $m^3$ ) y problemas estructurales que evidentemente impiden mantener dicha capacidad: paradas intermitentes, falta de coordinación logística, mantenimientos sin planificar o pedidos de tonelaje muy bajo disperso a lo largo del calendario.

A continuación, se presenta el promedio de producción del primer trimestre del 2025, evidenciándose la tendencia a la baja en los metros cúbicos producidos mes a mes.

**Figura 7 Producción  $m^3$ /día promedio 2025**

*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Durante el primer semestre del año 2025, los promedios mensuales de producción diaria presentan una tendencia a la baja. En enero, la producción fue de 178,08  $m^3$ /día; sin embargo, en febrero se registró un incremento relevante, siendo el punto más alto registrado, con 208,89  $m^3$ /día.

Para marzo, la producción continuó con un margen alto, con un promedio de 206,1  $m^3$ /día, manteniendo la estabilidad del rendimiento evidenciada en febrero. No obstante, a partir de abril comenzó una reducción continua en la producción, con un promedio de 145,96  $m^3$ /día, representando una reducción considerable. En mayo se obtuvo una mínima recuperación, con 152  $m^3$ /día, aun así, muy baja comparada con el primer trimestre del año. Finalmente, en junio, el promedio desciende aún más hasta los 140,33  $m^3$ /día, constituyéndose como el valor más bajo del semestre.

Estos registros indican una tendencia descendente, visualizada en la figura 7, donde la diferencia entre febrero y junio es de 68,56  $m^3$ /día, lo que da a entender que se presenta una disminución progresiva en la operatividad diaria, relacionada con diversos factores, siendo los principales la reducción de la demanda, el mantenimiento de equipos y la disminución de turnos.

#### 4.1.1 Porcentaje de utilización por m<sup>3</sup>/día

A continuación, se llevó a cabo el análisis para el primer semestre del año 2025, del cálculo del porcentaje de utilización por m<sup>3</sup>/día, con el propósito de estimar así el nivel de operación efectiva de la planta en relación con su capacidad nominal.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta enero} = \left( \frac{178,08 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 59,36\%$$

Durante el mes de enero, la planta presentó un 59,36% de utilización diaria, lo que representa un uso moderado de la capacidad de las instalaciones, esto se encuentra asociado inicialmente a los recesos de inicio de año derivados de las fiestas decembrinas y respectivamente baja en la demanda.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta febrero} = \left( \frac{208,89 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 69,63\%$$

Por su parte, en febrero se alcanzó un 69,63% de utilización diaria, con una producción promedio de 208,89 m<sup>3</sup>/día. Por ende, se registra un alza en la producción relacionada a un incremento en la demanda y una mayor operatividad durante las jornadas de trabajo, sin embargo, aún se evidencia un uso de 2/3 partes del total.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta marzo} = \left( \frac{206,1 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 68,7\%$$

Para marzo, la planta registró un 68,7% de utilización diaria, manteniendo el margen registrado en el mes anterior, lo que señala un flujo constante o similar de pedidos, Esto contribuye a que la producción siga la misma tendencia, con una estabilidad relativa de la utilización de las instalaciones.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta abril} = \left( \frac{145,96 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 48,7\%$$

Seguidamente en abril la planta evidenció una baja en la producción, llegando a una utilidad diaria de 48,7%, con una producción promedio de 145,96 m<sup>3</sup>/día. Por ende, abril trae consigo una disminución considerable de la utilización de las instalaciones, relacionada con la baja en la producción, lo que deriva de una reducción de la demanda, lo que afecta directamente al aprovechamiento total de la planta. Por ello, la baja utilización indica una subutilización considerable de la capacidad instalada, lo que puede impactar negativamente en la eficiencia económica del proceso si se prolonga en el tiempo.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta mayo} = \left( \frac{152 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 50,7\%$$

Durante mayo, la planta alcanzó un 50,7% de utilización diaria, con una producción promedio de 152 m<sup>3</sup>/día en comparación con la capacidad nominal de 300 m<sup>3</sup>/día. Respectivamente, se presenta una ligera alza de la utilización en relación a la registrada en abril, lo que señala que la demanda continúa con la misma tendencia, sin aumentar considerablemente, siendo la principal razón por la cual no se puede aprovechar al 100% la utilización de las instalaciones.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta junio} = \left( \frac{140,33 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 46,8\%$$

En junio, la planta registró un 46,8% de utilización diaria, con una producción promedio de 140,33 m<sup>3</sup>/día, lo que representa el valor más bajo del primer semestre. Este indicador confirma la tendencia descendente observada desde abril, evidenciando una marcada subutilización de la capacidad instalada.

$$\% \text{ de Utilización de la Planta promedio semestral} = \left( \frac{171,89 \text{ m}^3/\text{día}}{300 \text{ m}^3/\text{día}} \right) \times 100 = 57,3\%$$

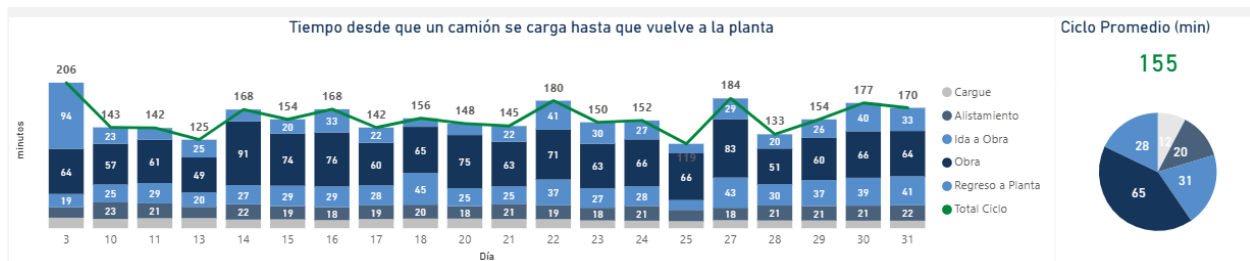
Al cierre del primer semestre de 2025, la planta registró un promedio de utilización diaria del 57,3%, con una producción media de 171,89 m<sup>3</sup>/día frente a su capacidad nominal de 300 m<sup>3</sup>/día.

Este resultado refleja que, en términos generales, un poco más de la mitad de la capacidad diaria instalada fue utilizada durante el periodo. Aunque se evidenciaron algunos picos de mayor producción en los primeros meses, la tendencia descendente a partir de abril impactó negativamente el promedio semestral.

#### 4.1.2 Tiempo de ciclo por lote

Durante el mes de enero, se determinó que el tiempo de ciclo promedio por lote fue de 155 minutos, equivalente a 2,58 horas. Este tiempo representa el total requerido para completar un ciclo completo de producción y entrega, desde el alistamiento hasta el regreso a la planta.

**Figura 8** Tiempos de ciclo enero 2025

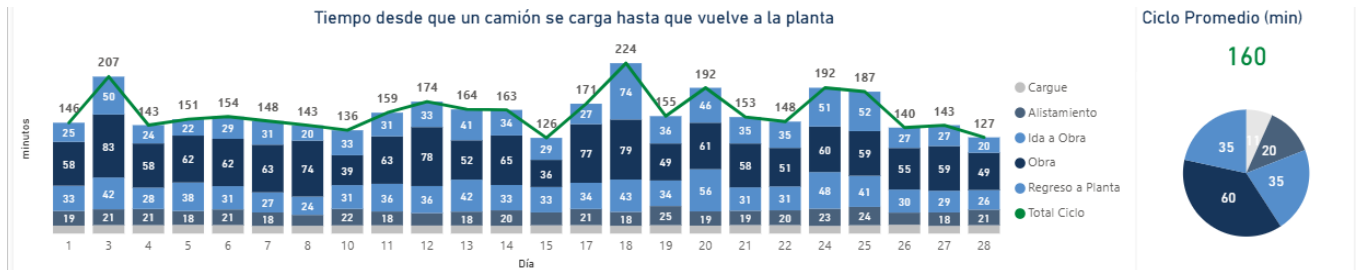


*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Teniendo en cuenta la jornada laboral de 10 horas diarias que equivale a 600 minutos, se estima que, bajo las condiciones actuales, la planta puede realizar aproximadamente 4 ciclos por mixer durante el día. Para este mes, se observa que más del 42% del ciclo está destinado al tiempo de descarga en obra, correspondiendo a un alto porcentaje para una sola etapa del proceso, además, los tiempos de desplazamiento tanto para ida y regreso suman 59 minutos, siendo una tercera parte del tiempo total.

Durante el mes de febrero, se registró un tiempo de ciclo promedio por lote de 160 minutos, equivalente a 2,67 horas, aumentando levemente con respecto a lo presentado en enero.

**Figura 9** Tiempos de ciclo febrero 2025



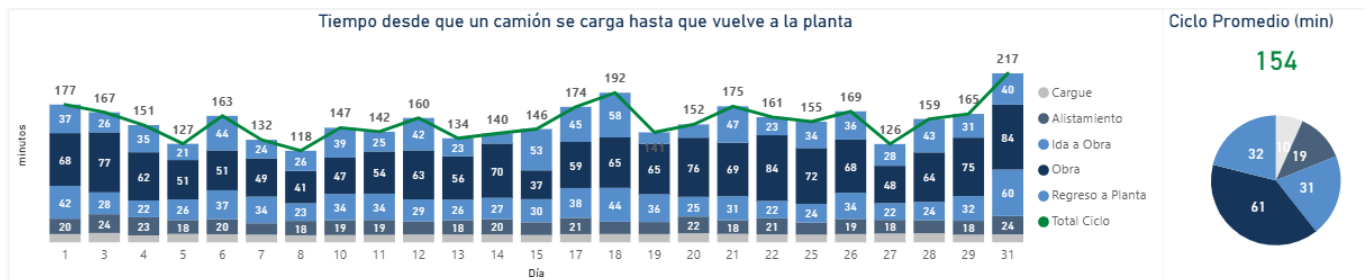
Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.

El tiempo de ciclo promedio registrado es de 160 minutos, por lo cual en una jornada de 600 minutos por día la planta posee un máximo de 3,75 pedidos durante el día por mixer. A pesar del incremento en la utilización de la planta con respecto a enero, el mayor tiempo por ciclo reduce el número de entregas diarias que podrían realizarse bajo condiciones óptimas.

Desglosando los registros presentados, la descarga en obra continúa siendo la fase con mayor prolongación, presentando una duración de 60 minutos de la totalidad, lo que representa el 37,5% del tiempo. Por su parte, la ida y regreso de las unidades suman 70 minutos, es decir, el 43,75% del ciclo, mientras el alistamiento y carga representan solo un 6%, ante estos resultados se mantiene una tendencia que señala que el tiempo operativo en su mayoría se invierte fuera de la planta.

Durante el mes de marzo, el tiempo de ciclo promedio por pedido fue de 154 minutos, equivalente a 2,57 horas. Este tiempo refleja una ligera variación respecto a febrero, manteniéndose dentro de un rango estable que sugiere cierta consistencia en la ejecución de las actividades operativas.

**Figura 10** Tiempos de ciclo marzo 2025

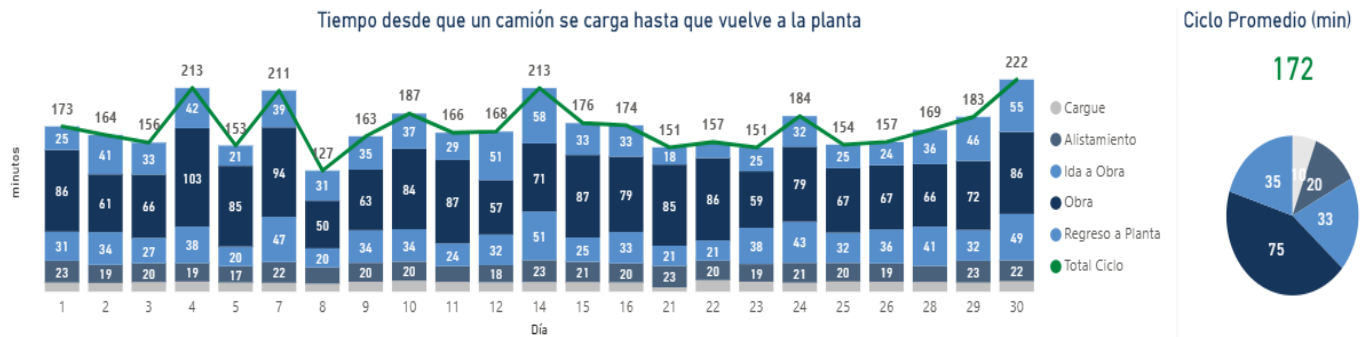


*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Al poseer una jornada diaria de 600 minutos la planta está en la capacidad de realizar 3,9 viajes por mixer, aunque el tiempo es un poco mayor al registrado en febrero la planta continúa estando en una capacidad por pedido similar. Desglosando el tiempo del ciclo se sigue presentando que la descarga es la fase con una mayor extensión de tiempo, registrando 61 minutos, siendo esto el 38% del tiempo total, de igual forma con un registro similar la ida y el regreso de la unidad disponen de 63 minutos lo que equivale al 39% del ciclo, y con un 23% en las fases restantes determinadas para el alistamiento y la carga. Ante esto, se evidencia que la mayor parte del ciclo se lleva a cabo fuera de las instalaciones de la empresa.

Durante el mes de abril, el tiempo de ciclo promedio por pedido fue de 172 minutos, es decir, aproximadamente 2,87 horas. Este valor es el más alto registrado en lo que va del año, lo que enfatiza un aumento en la duración total de las operaciones.

**Figura 11** Tiempos de ciclo abril 2025



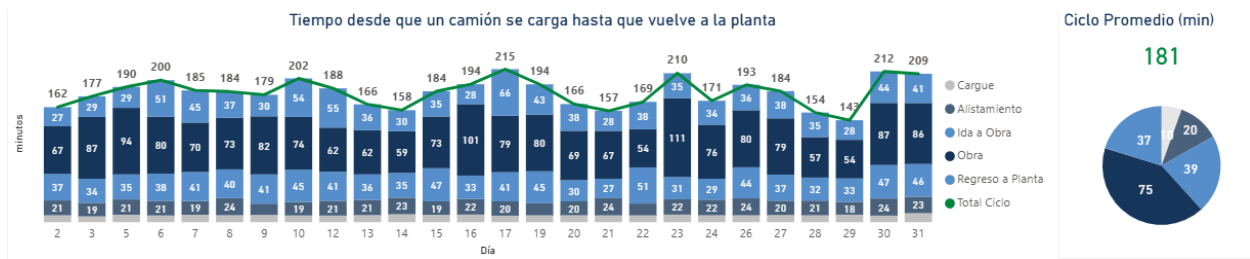
*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Con el promedio presentado de 172 minutos se evidencia una baja en la posibilidad de pedido por mixer, siendo de 3,4 viajes por cada uno en una jornada de 600 minutos laborales. Esto representa una baja en la capacidad operativa en la planta, siendo más evidente por la baja en la producción, lo que se interpreta como una adaptabilidad por parte de los operarios ante la reducción de la demanda.

Desglosando el tiempo registrado se evidencia que la descarga en obra persiste como la fase con mayor disposición de tiempo, registrando 75 minutos es decir el 44% del tiempo total, a su vez el desplazamiento de las mixers tanto en ida como en regreso representa 68 minutos es decir el 39,5% de la totalidad del ciclo, continuando la misma tendencia de los meses anteriores, que ratifican que la mayor parte del tiempo el ciclo es llevado a cabo en el exterior de la planta.

En el mes de mayo, el tiempo de ciclo promedio por pedido alcanzó los 181 minutos, lo que equivale a 3,01 horas por entrega, presentándose un aumento del ciclo, lo cual está asociado a la adaptabilidad de los operarios en relación con la demanda.

**Figura 12** Tiempos de ciclo mayo 2025



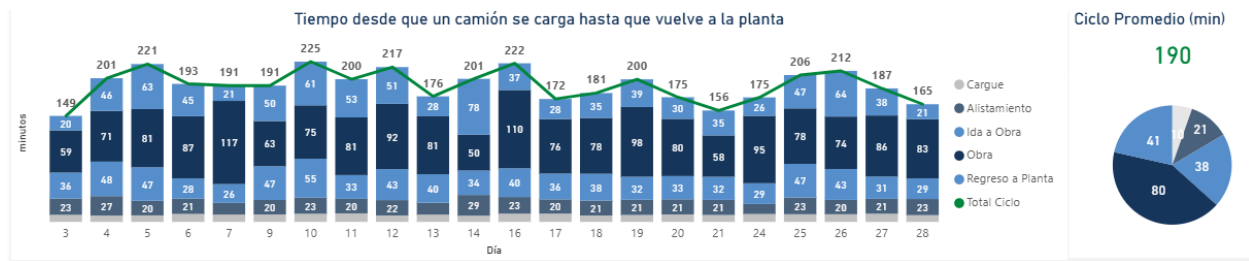
*Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.*

Para este mes la planta registró un máximo de 3,3 viajes por mixer en la jornada laboral de 600 minutos. Aunque se presenta con un leve incremento en la productividad, este no se compara a la evidenciada en febrero y marzo, por ende, puede interpretarse dicha disponibilidad como una adaptación a la demanda por parte de los agentes de servicio (operarios/conductores).

Las cifras reflejan que el mayor consumo de tiempo continúa ocurriendo en la fase de descarga, que representa aproximadamente el 41% del ciclo total. Los tiempos de traslado (ida y regreso) suman 76 minutos, es decir, cerca del 42%, mientras que las actividades internas (alistamiento y carga) aportan el 17% restante.

Durante el mes de junio, el tiempo de ciclo promedio por pedido fue de 190 minutos, es decir, 3,2 horas por entrega, constituyéndose como el valor más alto registrado en el primer semestre. Teniendo en cuenta la producción del mes, este incremento en el ciclo de tiempo podría deberse a la adaptabilidad de los operarios durante las entregas, ya que, al no presentarse una alta demanda, estos no perciben la necesidad de acelerar el proceso.

**Figura 13 Tiempos de ciclo junio 2025**



Nota. Imagen elaborada por medio de los registros históricos de CEMEX.

Desglosando el tiempo promedio registrado, se evidencia que la descarga representa cerca del 42% del ciclo total. Sin embargo, se evidencia un aumento del tiempo de regreso, que, con 41 minutos, equivale al 22% del ciclo, lo que constata la hipótesis de una adaptabilidad del agente de servicio en relación con la demanda. Asimismo, se presenta un máximo de 3,1 pedidos diarios por mixer, lo que representa la menor capacidad operativa por jornada del semestre.

#### 4.2 Indicadores de rentabilidad

Durante el mes de enero del 2025 la empresa presentó una producción de 3566,5 metros cúbicos de concreto. Respectivamente, durante este mes, el valor promedio de comercialización fue de \$520.163,62 de pesos por m<sup>3</sup>.

$$Total\ producción = \$520.163,62 * 3566,5 = \$1.855.163.551$$

Por lo tanto, en el mes de enero, la planta generó un total de \$1.855.163.551 pesos provenientes de la venta de las diferentes recetas producidas, asimismo, según los datos contables internos se estima que el costo de la producción fue de \$1. 579.345.222 pesos, dentro de los cuales se encuentran los gastos operativos, administrativos, costos de materia prima e insumos, entre otros, y un costo adicional de \$516.344 por el concepto de servicio de bombeo, presentándose un costo por m<sup>3</sup> como se presenta a continuación.

$$\text{costo por } m^3 = \frac{\$1.579.345.222 + \$516.344}{3566,5} = \$442.972,5$$

$$\text{utilidad por } m^3 = \$520.163,62 - \$442.972,5 = 77191,12$$

$$\% \text{ de utilidad por } m^3 = \frac{\$77.191,12 * 100}{\$442.972,5} = 17,43\%$$

Por consiguiente, durante el mes de enero del 2025 el costo por metro cubico fue de \$442.972,5 pesos, en relación al valor comercializado se presenta una utilidad de \$77.191,12 pesos por  $m^3$ , lo que representa a un 17,43% de utilidad por  $m^3$ .

Con respecto al mes de febrero la planta produjo 5013,3  $m^3$  de concreto, determinándose un valor promedio de comercialización de \$479.294,4 pesos por  $m^3$  en comparación al mes anterior se presenta una reducción del valor comercial del concreto, esta variación puede atribuirse a una mayor demanda de recetas de menor costo o valor agregado, lo cual impacta directamente en el precio promedio de venta y, por ende, en la rentabilidad por metro cúbico.

$$\text{Total producción} = \$479.294,4 * 5013,3 = \$2.402.846.616$$

De tal forma, en febrero se presenta un total de \$2.402.846.616 pesos derivados de la venta de las diferentes recetas de concreto generando aproximadamente un 30% adicional al total de la producción de enero. Respectivamente, los costos de la producción para este mes son de \$2.049.954.697 pesos y un costo adicional de \$8.533.515 pesos por el concepto de servicio de bombeo.

$$\text{costo por } m^3 = \frac{\$2.049.954.697 + \$8.533.515}{5013,3} = \$410.605,4$$

$$\text{utilidad por } m^3 = \$479.294,4 - \$410.605,4 = \$68.689$$

$$\% \text{ de utilidad por } m^3 = \frac{\$68.689 * 100}{\$410.605,4} = 16,73\%$$

Por consiguiente, durante el mes de febrero el costo por metro cubico de concreto producido fue de \$410.605,4, en comparación a enero se evidencia una reducción de este derivada de una mayor demanda de recetas de menor costo, y esto se evidencia en la utilidad por metro cubico donde se obtiene \$68.689 pesos siendo el 16,73%. Aunque se mantiene una rentabilidad positiva, el margen de utilidad muestra una ligera disminución frente al mes anterior, donde se alcanzó un 17,43%. Esto sugiere que, si bien la planta logró mantener altos niveles de producción, la selección de recetas más económicas impactó directamente la rentabilidad por unidad.

Para el mes de marzo como se ha mencionado anteriormente la producción mantuvo un margen constante, produciéndose 5152,5 metros cúbicos durante este periodo, manteniendo un valor promedio de comercialización de \$473.405 pesos por m<sup>3</sup>, y continuando la tendencia a la baja de este precio de venta.

$$\text{Total producción} = \$473.405 * 5152,5 = \$2.439.219.263$$

Por consiguiente, se presenta un total de \$2.439.219.263 pesos derivados de la venta de las diferentes recetas de concreto. Respectivamente, los costos de la producción para este mes son de \$2.074.283.782 pesos de pesos y un costo adicional de \$5.082.722 pesos por el concepto de servicio de bombeo.

$$\text{costo por } m^3 = \frac{\$2.074.283.782 + \$5.082.722}{5152,5} = \$402.578,1$$

$$\text{utilidad por } m^3 = \$473.405 - \$402.578,1 = \$70.826,9$$

$$\% \text{ de utilidad por } m^3 = \frac{\$70.826,9 * 100}{\$402.578,1} = 17,6\%$$

Para el mes de marzo el costo m<sup>3</sup> de concreto producido fue de \$402.578,1 pesos se siguen presentando en este mes una disminución de los costos de producción, manteniendo la tendencia de una mayor comercialización de recetas de bajo costo. Respectivamente la planta en este mes

obtuvo una ganancia de \$ 70.826,9 pesos por  $m^3$  que consiste en un 17,6% de utilidad. En comparación con los meses anteriores, la empresa logró mejorar sus indicadores operativos, incrementando sus ingresos y mejorando la gestión de sus costos. Este desempeño positivo se debe, en parte, al aumento en las ventas y a una distribución más eficiente de las recetas, favoreciendo aquellas con mayor rotación y menor costo unitario, lo cual ha permitido sostener niveles adecuados de rentabilidad.

En abril en la producción se presentó una reducción significativa cerca del 35% en relación al mes anterior, presentándose una producción de 3357  $m^3$  y siendo comercializado por \$483.930 pesos por metro cubico presentando un leve aumento en el precio de venta

$$\text{Total producción} = \$483.930 * 3357 = \$1.624.553.010$$

Por consiguiente, se presenta un total de \$1.624.553.010 de pesos de ingresos por ventas. Con respecto a los costos de producción para este mes es de \$1.480.853.817 y un costo adicional de \$8.133.019 por el concepto de servicio de bombeo.

$$\text{costo por } m^3 = \frac{\$1.480.853.817 + \$8.133.019}{3357} = \$443.546,9$$

$$\text{utilidad por } m^3 = \$483.930 - \$443.546,9 = \$40.383,1$$

$$\% \text{ de utilidad por } m^3 = \frac{\$40.383,1 * 100}{\$443.546,9} = 9,1\%$$

Con base en una producción mensual de 3.357  $m^3$ , se calcula un costo unitario por metro cúbico de \$443.546,9. Esto, frente a un valor de comercialización promedio de \$483.930 por  $m^3$ , da como resultado una utilidad por unidad de \$40.383,1, lo que representa un margen de ganancia del 9,1%.

En comparación con el mes anterior (marzo), se observa una disminución tanto en la utilidad por metro cúbico como en el porcentaje de rentabilidad, que había sido de \$70.826,9 y 17,6% respectivamente. Esta reducción puede atribuirse al incremento en los costos unitarios de

producción, posiblemente influenciados por la menor producción total en abril, así como al aumento de costos asociados como el servicio de bombeo. A pesar de ello, la operación sigue siendo rentable, aunque con un margen más ajustado.

Con respecto al mes de mayo, se presentó un incremento aproximado del 18% en comparación con abril, sin embargo, aún muy por debajo de los puntos más altos presentados en marzo y febrero. Respectivamente la producción en mayo fue de 3939,8 m<sup>3</sup>, el cual fue comercializado en \$463.982 pesos por metro cúbico, evidenciándose una reducción del precio de venta en relación al mes anterior.

$$\text{Total producción} = \$463.982 * 3939,8 = \$1.827.996.284$$

Por consiguiente, se presenta un total de \$1.827.996.284 de pesos de ingresos por ventas. Con respecto a los costos de producción para este mes es de \$1.629.027.746 y un costo adicional de \$16.437.486 por el concepto de servicio de bombeo.

$$\text{costo por m}^3 = \frac{\$1.629.027.746 + \$16.437.486}{3939,8} = \$417.651,9$$

$$\text{utilidad por m}^3 = \$463.981 - \$417.651,9 = \$46.329,1$$

$$\% \text{ de utilidad por m}^3 = \frac{\$46.329,1 * 100}{\$417.651,9} = 11,1\%$$

Con base en una producción mensual de 3.930,8 m<sup>3</sup>, se calcula un costo unitario por metro cúbico de \$417.651,9. Esto, frente a un valor de comercialización promedio de \$463.981 por m<sup>3</sup>, da como resultado una utilidad por unidad de \$46.329,1, lo que representa un margen de ganancia del 11,1%.

En comparación con el mes de abril se observa un aumento del 2% de la utilidad por metro cúbico, esto atribuido a la disminución de los costos por producción y el aumento de los metros cúbicos vendidos en este mes.

Por último, para el mes de junio, se evidenció una disminución de los metros cúbicos producidos del 22% aproximadamente, siendo el mes de menor venta de concreto durante el primer semestre del año 2025. Por lo tanto, los 3.087,3 m<sup>3</sup> producidos en junio fueron comercializados en \$449.724 pesos por metro cubico, continuando la tendencia a la baja en el valor de comercialización presentada en los meses anteriores.

$$\text{Total producción} = \$449.724 * 3087,3 = \$1.388.432.905$$

Por consiguiente, se presenta un total de \$1.386.634.009 pesos de ingresos por ventas. Con respecto a los costos de producción para este mes es de \$1.277.881.657 y un costo adicional de \$810.000 por el concepto de servicio de bombeo.

$$\text{costo por } m^3 = \frac{\$1.277.881.657 + \$810.000}{3087,3} = \$414.177,9$$

$$\text{utilidad por } m^3 = \$449.724 - \$414.177,9 = \$35.546,1$$

$$\% \text{ de utilidad por } m^3 = \frac{\$35.546,1 * 100}{\$414.177,9} = 8,6\%$$

Con base en una producción mensual de 3.087,3 m<sup>3</sup>, se calcula un costo de producción por metro cúbico de \$414.177,9. Esto, frente a un valor de comercialización promedio de \$449.724 por m<sup>3</sup>, da como resultado una utilidad por unidad de \$35.546,1, lo que representa un margen de ganancia del 8,6%.

En comparación con el mes de mayo se observa una reducción del 3% de la utilidad por metro cubico, esto atribuido al aumento de los costos por producción y la disminución de los metros cúbicos vendidos en este mes.

#### **4.2.1 Costos por paradas no planificadas**

En el primer semestre de 2025, a pesar de no constar (registrarse) paradas totales no planificadas en la planta de concreto de La Estrella, sí se llegó a observar una utilización parcial de su capacidad nominal, lo que se podría traducir en costos ocultos como consecuencia de una inactividad operativa parcial o bien de un mal esquema de programación. Este último tipo de caso, a pesar de no clasificarse como una parada, constituye un tipo de pérdida de la producción que debe ser considerada al determinar el recurso último del proceso.

Por consiguiente, se observó que, aunque el desempeño de la planta era bueno en los periodos activos de producción, en el promedio diario se podía evidenciar la existencia de una utilización parcial del tiempo de trabajo. Esto conlleva que gran parte del tiempo alterno que se dispuso no se utilizara en su totalidad, apareciendo, siendo esto importante destacar que no se dejaba de operar totalmente, períodos de inactividad relativa en la que los costes indirectos que podían derivarse de mano de obra improductiva, subutilización medios de producción y consumo energético sin retorno proporcional, etc., superaban el fenómeno de eficiencia y por tanto resultaron de especial importancia a la hora de ponderar la preeminencia de la ausencia de actividad.

Tal patrón reflejaba que la instalación solo utilizaba su máxima capacidad en determinados momentos del día intercalando periodos de inactividad menor. Este comportamiento podría conllevar en la planta gastos extraordinarios por retrabajos, oscilaciones en el ritmo productivo, baja continuidad o falta de fluidez de trabajo. En ciertos meses, la actividad diaria se redujo de forma clara, lo que fue equivalente a un significativo desaprovechamiento de la capacidad instalada, así como el riesgo de que surgieran costos adicionales por inactividad relativa. Asimismo, la alternancia entre alta exigencia productiva y tiempos de baja utilización podía

acelerar el desgaste de los equipos, aumentar la frecuencia de mantenimientos y reducir la vida útil de los componentes.

### 4.3 Segmentación del problema

Entre enero y junio de 2025, la planta de producción de concreto ha enfrentado diversas devoluciones de producto que, dependiendo de su tratamiento (reutilización o desperdicio), han impactado directamente en los niveles de rentabilidad mensual.

Las devoluciones pueden ser ocasionadas por diferentes factores, entre ellos: obras no listas para el descargue, problemas de calidad en el concreto, descargas incompletas o inconvenientes logísticos como la congestión vehicular y novedades mecánicas en las mixer. La correcta gestión de estos eventos es crucial, ya que cada metro cúbico devuelto representa una pérdida potencial en términos de costos operativos e ingresos esperados como los costos de oportunidad.

**Tabla 1**      **Detalle de causas de desperdicio.**

<b>Mes</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Causa Reportada</b>
<b>Enero</b>	12	Vehículo varado, desperdicio en embudo de transferencia y cliente no recibe el concreto
<b>Febrero</b>	13	Concreto no recibido por pérdida de calidad debido a falla mecánica de la mixer y desperdicio en embudo de transferencia
<b>Marzo</b>	17	Pedido cancelado por fallas mecánicas de la mixer y desperdicio por chorreo en el embudo de transferencia
<b>Abril</b>	10,75	Pérdida de manejabilidad durante la descarga en obra por falla en el tambor y desperdicio

<b>Mayo</b>	14	No recibido por pérdida de calidad debido a retraso de la mixer y desperdicio
<b>Junio</b>	7,5	Falla mecánica del sensor mezclador

*Fuente. Histórico de entregas Planta Estrella, CEMEX (2025)*

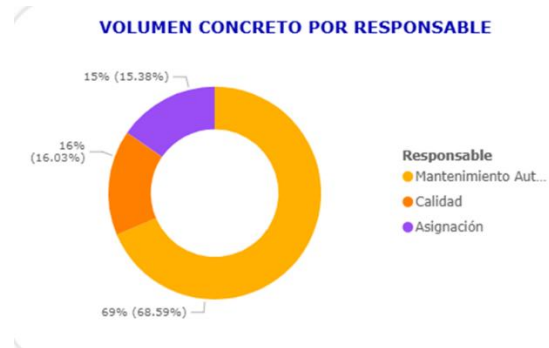
Al sumar los volúmenes descritos en la Tabla 1, se corrobora la cifra global de 74,25 m<sup>3</sup>, distribuidos en diferentes meses y con causas multifactoriales: se observan problemas de especificación de la mezcla, pérdida de concreto debido a chorreos en canal de transferencia, fallas mecánicas y cancelación de pedido debido a demoras en la entregas relacionadas con fallas de las mixer, lo cual coincide con el método de Ishikawa acerca de la necesidad de inspeccionar todos los factores que convergen en la generación del producto, esto es, materiales, equipos, métodos, mano de obra, entorno y administración.

Ahora, tal como se ilustra en la figura 14, el volumen total de concreto rechazado —los 74,25 m<sup>3</sup> ya mencionados— se distribuye de manera desigual entre las tres áreas responsables: Mantenimiento Automotriz e Industrial concentra el 69 % del total, Calidad representa el 16 % y Asignación el 15 %.

Esta distribución confirma que no existe un único “talón de Aquiles” en el proceso, sino un mosaico de deficiencias que se autoalimentan: los descuidos en el control de mezcla y aditivos afectan tanto a las bombas y vehículos de transporte como a las unidades de inspección de calidad; las pérdidas de propiedades físico-químicas afectan por igual los equipos mecánicos y la verificación de estándares; y los errores operativos en el manejo del agua impactan tanto en el ensamblaje de la infraestructura como en los protocolos de ensayo y validación. En otras palabras, al sumarse estas tres “fuerzas” casi iguales, se complementa el argumento de Ishikawa acerca de

la necesidad de inspeccionar de forma integral todos los factores —materiales, máquinas, métodos, mano de obra, medio ambiente y gestión— pues, como en un engranaje de relojería, la falla de cada engranaje deriva en un desfase global que termina traduciéndose en concreto desaprovechado.

**Figura 14** Volumen concreto desperdicio por responsable.



*Nota. Volumen de concreto desperdiciado por responsable Planta Estrella, CEMEX (2025).*

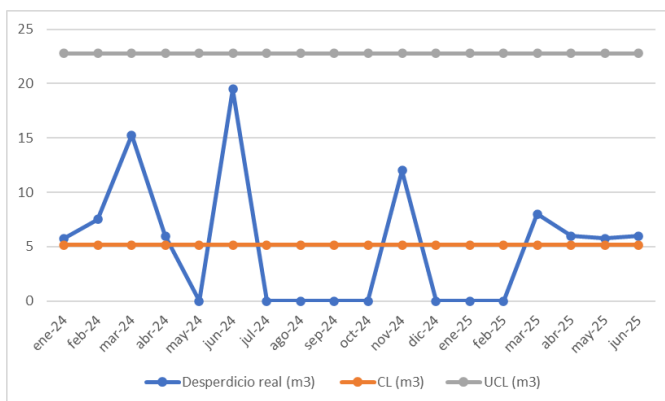
Esta situación evidencia que la falta de seguimiento preventivo de los mixers y el deficiente control de calidad antes de la salida de la planta, así como en la obra, pueden ser factores clave que deriven en rechazos; según Deming (1982), la variación en las etapas iniciales del proceso repercute de manera exponencial en la calidad final. Tal hecho se aprecia con claridad en el caso de marzo, donde se presentaron dos desperfectos mecánicos que ocasionaron el varado del equipo y la pérdida de 17 m<sup>3</sup>; por su parte, en enero se registra un rechazo por parte de la interventoría que podría haberse evitado si existiera una comunicación más sólida entre la planta y la supervisión de obra, generando evidencia tangible de la calidad del concreto en el momento de la recepción (por ejemplo, con ensayos de asentamiento y resistencia inicial documentados).

Los costos asociados al desperdicio, incluidos en la Tabla 1, refuerzan la urgencia de un plan de acción integral: el volumen de 17 m<sup>3</sup> perdido en marzo implica un costo aproximado de 7

millones de pesos, que no solo afectan el flujo de caja sino también la reputación de la organización, porque un rechazo frecuente indica una falta de confiabilidad en los procesos y en el producto entregado, un aspecto que Juran y De Feo (2010) describen como “*la escalada de la insatisfacción del cliente*” y que puede propagarse rápidamente en el sector de la construcción, donde las recomendaciones y las relaciones contractuales suelen ser determinantes para conservar o ganar proyectos. También existe el factor de costos indirectos, pues reprogramar un despacho o solventar un desperfecto mecánico en plena operación ocasiona una caída en la eficiencia de la planta, con jornadas más extensas y personal que debe prolongar el horario laboral para suplir las necesidades del cliente, lo que incrementa la probabilidad de cometer nuevos errores.

Para vigilar la estabilidad temporal se calculó una carta u con límite superior (UCL) y línea central (CL) derivados de la media ( $\mu = 5,15$ ) y la desviación estándar ( $\sigma = 5,88$ ). El límite inferior (LCL) resultó negativo, por lo que se acotó a cero conforme al estándar ASTM E2587-16.

**Figura 15** Parámetros de la carta de control del desperdicio mensual



*Nota. Elaboración propia. \*Truncado a 0.*

Tal como se aprecia en la figura, los datos de desperdicio mensual considerados corresponden a las pérdidas netas, sin incluir los desperdicios internos de planta. Estos valores se mantienen

dentro de los límites de control (UCL y CL) durante todo el período analizado, sin superar el UCL en ningún momento. Sin embargo, el amplio margen entre el CL (línea central) y el UCL (límite superior de control) indica una variabilidad considerable dentro de los parámetros establecidos, lo que sugiere que el proceso tolera fluctuaciones bastante grandes antes de activar cualquier alerta. Este comportamiento subraya la necesidad de mejorar el control del proceso para minimizar las variaciones y garantizar una mayor consistencia. A pesar de que no se superan los límites superiores de control, las variaciones observadas pueden generar oportunidades de mejora que, de no ser atendidas, podrían resultar en ineficiencias o costos adicionales.

El objetivo estratégico será reducir la media de desperdicio hacia valores más bajos ( $< 5 \text{ m}^3$ ) y estrechar los límites de control, lo que permitirá detectar más rápidamente cualquier desviación significativa del proceso. Este enfoque puede alinearse con los principios de Six Sigma (Harry y Schroeder, 2000), que buscan reducir la variabilidad del proceso a niveles aceptables mediante la implementación de estrategias como el control de calidad, la mejora de los procedimientos y el uso de herramientas estadísticas para la mejora continua.

La síntesis de la matriz DOFA obtenida aparece en la Tabla 2, así como los subsiguientes resultados en las tablas posteriores.

**Tabla 2** Matriz dofa de la planta La estrella

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción instalada de 80 m<sup>3</sup>/h.</li> <li>• KPI'S realizando sistemas de medición.</li> <li>• Cultura de mejora respaldada por programas Lean corporativos.</li> <li>• Laboratorio interno acreditado bajo ISO 17025.</li> <li>• Nuevas tecnologías para la recuperación de agregados.</li> <li>• Talento humano en la toma de decisiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento de la vivienda VIS en el Valle de Aburrá.</li> <li>• Aumento de la demanda de concreto por proyectos de construcción e infraestructura.</li> <li>• Posibilidad de captar nuevos clientes y aumentar participación en el mercado.</li> <li>• Bajas tasas del IPC</li> <li>• Reutilización de productos no conformes.</li> </ul>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidad del contenido de humedad de agregados finos.</li> <li>• Protocolos de calibración de sensores discontinuos.</li> <li>• Comunicación fragmentada entre despacho y obra.</li> <li>• Probabilidad de error humano en el proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada de nuevos competidores al mercado del concreto.</li> <li>• Incremento de los costos de insumos y transporte.</li> <li>• Mayores legislaciones de sostenibilidad de la ANLA sobre residuos.</li> <li>• Multas sancionatorias</li> <li>• Afectación en la imagen corporativa</li> </ul>

*Nota. Elaboración propia.*

La matriz evidencia que varias debilidades se solapan con las principales causas de desperdicio (humedad, calibración, comunicación), lo que refuerza la coherencia diagnóstica y la priorización de acciones.

Con el fin de profundizar en las causas raíz del desperdicio, se aplicó la metodología de los 5 porqués, una herramienta de análisis que permite descomponer progresivamente los factores que originan un problema. El resultado, resumido en la Tabla 3, muestra la interacción crítica entre equipos y métodos.

**Tabla 3      Secuencia 5 Porqués**

<b>Pregunta / Respuesta</b>	<b>Categoría Ishikawa</b>
1. ¿Por qué se rechazó el lote? → El asentamiento medido en obra fue 4 cm inferior a lo requerido.	Calidad
2. ¿Por qué el asentamiento era bajo? → Exceso de absorción de humedad del agregado fino.	Materiales
3. ¿Por qué el agregado absorbió más agua? → Humedad superficial no registrada el día anterior.	Métodos
4. ¿Por qué no se registró? → Sensor de humedad descalibrado desde la semana previa.	Máquina
5. ¿Por qué no se calibró? → Falta de planificación de la tarea.	Mano de obra.

*Nota. Elaboración propia.*

La raíz, más que técnica, resultó ser de gestión: la orden preventiva nunca se liberó; de allí que el plan de mejora deba reforzar la gobernanza del mantenimiento. Ahora, para captar la dimensión cultural, se codificaron 126 unidades de sentido siguiendo el método de segmentación de Miles y Huberman (1994). Los temas y su frecuencia se encuentran en la tabla 4.

**Tabla 4** Temas emergentes y frecuencia relativa

Tema	Apariciones	% sobre total
Comunicación planta-obra	32	25 %
Capacitación en dosificación	27	21 %
Mantenimiento predictivo	22	17 %
Presión por tiempos de entrega	19	15 %
Gestión de inventario de aditivos	16	13 %
Cultura de seguridad	10	8 %

*Nota. Elaboración propia.*

La narrativa que acompaña a las cifras muestra que los agentes de servicio perciben que la urgencia de cumplir ventana de vaciado prima sobre la verificación fino-grano de humedad, y que esa presión propicia “atajos” que terminan en rechazos. Patton (2002) advierte que cuando la cultura incentiva el output por encima del control de procesos, la calidad se vuelve rehén de la prisa: la evidencia local parece confirmarlo.

La superposición de lo cuantitativo con lo cualitativo describe un sistema donde la variabilidad estadística del desperdicio —amplia, intermitente, dominada por unos pocos picos— dialoga con una ecología organizacional que naturaliza urgencias, posterga calibraciones y gestiona la humedad “a ojo”. La correlación productiva-desperdicio ( $r \approx 0,29$ ) sugiere un fenómeno “deseconomía de escala suave”: cuanto más se produce, más propensos son los picos de rechazo, no por falta de capacidad, sino por tensiones en el control de procesos. Esa lectura se refuerza cuando el 72,6 % de las pérdidas se concentra en tres causas perfectamente atacables con rutinas Lean-Six Sigma: estandarizar verificación de humedad, blindar el mantenimiento preventivo y habilitar un sistema de comunicación planta-obra en tiempo real.

Paralelamente, la DOFA diagnostica que la planta posee fortalezas estructurales —acreditación de laboratorio, programas Lean— y oportunidades de mercado —vivienda VIS, digitalización— que, bien orquestadas, pueden contrarrestar la volatilidad interna.

El 5 Porqués permite anclar la discusión en un hecho puntual, mostrando que la raíz del 29 % de desperdicio anual no es únicamente un sensor defectuoso, sino un circuito de gestión que no genera las órdenes preventivas a tiempo, lo que coincide con la literatura de sistema socio-técnico: los problemas técnicos suelen ser síntomas de vacíos organizacionales (Reason, 1997). Dicho esto, el análisis temático muestra que los propios trabajadores sitúan la comunicación y la capacitación como cuellos de botella invisibles, lo que confirma la necesidad de intervenciones que vayan más allá de la máquina y aterricen en la retroalimentación y la conciencia de costo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el ahorro potencial para la planta derivado de dar solución a estos problemas, podría estimarse en función de la reducción del desperdicio promedio por mes; si se reduce incluso la mitad del desperdicio actual, se estaría hablando de un ahorro cercano a 12 millones de pesos anuales (considerando la suma de 23,85 millones de pesos generada en el periodo analizado), sin contar los costos colaterales que afectan la imagen de la empresa y la probabilidad de adjudicación de futuros contratos.

De acuerdo con Womack y Jones (1996), la minimización de pérdidas no solo incide en la rentabilidad inmediata, sino que también crea un entorno orientado a la excelencia operativa, donde la estandarización de procesos impulsa la cultura de calidad y la satisfacción del cliente.

Con el fin de esclarecer las causas raíz y apoyar la aplicación de metodologías de mejora, se adopta la clásica herramienta del diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto o espina de pescado (Ishikawa, 1985). El esquema textual al final de este informe

agrupa los hallazgos en seis categorías: Máquina, Métodos, Materiales, Mano de Obra, Medio Ambiente y Gestión/Cliente, permitiendo discernir la interrelación de los factores.

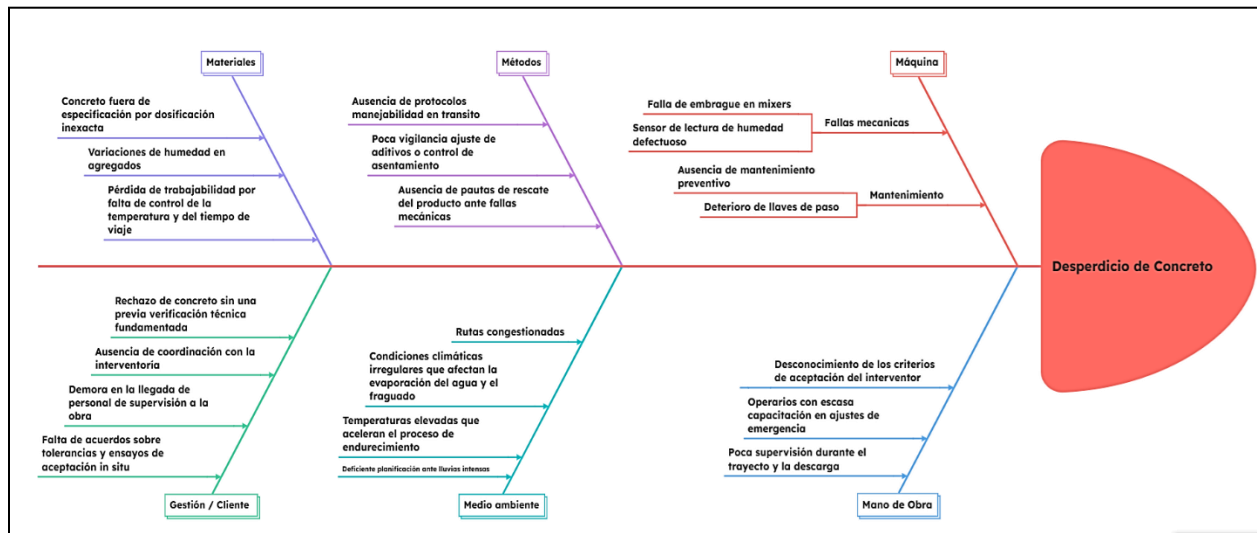
El análisis de cada categoría se reviste de particular importancia al observar la multiplicidad de incidencias documentadas; por ejemplo, en la categoría Máquina, se encuentran fallas mecánicas del sensor de lectura de humedades y problemas de embrague en el mixer, que motivan demoras y rechazos; en la categoría Materiales, se incluyen los casos de concreto fuera de especificaciones por falta de uniformidad en la dosificación de aditivos o por mediciones inexactas de humedad en los agregados, cuestiones que se pueden mitigar con calibraciones periódicas y rutinas de verificación (Deming, 1982). Además, la categoría Métodos abarca los protocolos de operación y transporte, que se tornan críticos cuando el volumen despachado aumenta y los riesgos de retraso, sobrecarga o manipulación inadecuada del agua se multiplican.

La categoría Mano de Obra revela la necesidad de mayor entrenamiento y supervisión, especialmente cuando se presentan llaves de paso abiertas, agregados con humedad fluctuante o cuando la interventoría exige parámetros rigurosos de asentamiento y resistencia, circunstancias que demandan altos niveles de conocimiento del personal para reaccionar en tiempo real.

Por otro lado, el Medio Ambiente puede incidir fuertemente si las temperaturas ambientales suben o las precipitaciones incrementan, modificando la trabajabilidad del concreto, por lo que se requieren planes de contingencia que consideren la estacionalidad y la gestión logística de rutas congestionadas. Por último, la categoría Gestión/Cliente involucra los procedimientos de rechazo en obra, la comunicación efectiva entre las partes y la claridad de la información técnica, incluyendo la programación de las descargas, el registro de parámetros y la justificación del rechazo cuando los ensayos muestren que el producto podría ser todavía apto para su uso, estrategia respaldada por la normatividad y las buenas prácticas recomendadas por Juran y De Feo (2010).

A continuación, se presenta un Diagrama de Espina de Pescado, con énfasis en la clasificación de las principales causas identificadas a partir de los datos obtenidos y recopilados por las áreas de la empresa encargadas de los procedimientos relacionados con la calidad y logística de los productos.

**Figura 16 Diagrama de ISHIKAWA**



*Nota. Elaboración propia.*

La identificación de estas causas se alinea con los postulados de Ishikawa (1985) y de Deming (1982), quienes recomiendan un abordaje multidisciplinario para tratar los problemas de desperdicio en procesos industriales, sumado a la adopción de metodologías de mejora continua, como el ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA), que permitirían implementar contramedidas graduales y sistemáticas. Este enfoque concuerda con la necesidad de controlar la variabilidad en la producción de concreto y hacer más eficientes las etapas de transporte y entrega, factores que se constituyen en ejes neurálgicos para reducir rechazos y mermas económicas.

Dicho lo anterior, el diagnóstico expuesto sugiere que la Planta La Estrella cuenta con una capacidad de producción significativa y con la posibilidad de cubrir demandas variables a lo largo

del año, evidenciada por los picos mensuales de hasta 7.492,75 m<sup>3</sup> en abril de 2024; sin embargo, la efectividad y la rentabilidad se ven comprometidas al no disponer de planes de acción robustos para contener las fallas mecánicas, la mala dosificación y las discrepancias con la interventoría.

Ahora, el diagnóstico anterior —cimentado en la lectura cronológica de los volúmenes producidos, la identificación de 66 m<sup>3</sup> de concreto desperdiciado en 2024 y el diagrama de Ishikawa que reveló un mosaico de causas distribuidas entre mantenimiento, calidad y operación— ofreció un mapa de los problemas de la Planta La Estrella.

Sin embargo, además de aquella visión causal, también es necesaria la cuantificación de patrones estadísticos e indagar en las percepciones del personal, de modo que las acciones de mejora emerjan como un medio de ahorro potencial para la planta, así como, para dar solución a estos problemas. Podría estimarse dicho ahorro en función de la reducción del desperdicio promedio por mes; si se reduce incluso la mitad del desperdicio actual, se estaría hablando de un ahorro cercano a 12 millones de pesos anuales (considerando la suma de 23,85 millones de pesos generada en el periodo analizado), sin contar los costos colaterales que afectan la imagen de la empresa y la probabilidad de adjudicación de futuros contratos.

Por otra parte, los estadísticos descriptivos del desperdicio proceden de los registros consolidados en la Tabla 1; se calcularon con la varianza y la desviación estándar como métricas de dispersión, complementadas por los cuartiles para perfilar la asimetría de la serie (Juran & De Feo, 2010).

**Tabla 5** Estadísticos de dispersión del desperdicio mensual (m<sup>3</sup>)

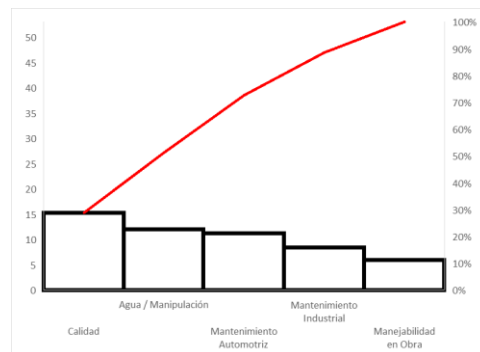
<b>Estadístico</b>	<b>#</b>
<b>Media</b>	12,4
<b>Mediana</b>	12,5
<b>Mínimo</b>	7,5
<b>Q<sub>1</sub> (25 %)</b>	9,94
<b>Q<sub>2</sub> (50 %)</b>	12,5
<b>Q<sub>3</sub> (75 %)</b>	14,75
<b>Máximo</b>	17
<b>Desviación estándar</b>	3,2
<b>Varianza</b>	25,6%

*Nota. Elaboración propia.*

Narrativamente, la mediana es nula y el rango intercuartílico (0 – 5,94 m<sup>3</sup>) revelan que la mayoría de los meses opera sin desperdicios significativos; no obstante, la presencia de valores extremos —marzo 2024 (15,25 m<sup>3</sup>) y junio 2024 (19,5 m<sup>3</sup>)— incrementa la desviación estándar y advierte episodios “espasmódicos” que afectan la rentabilidad. El coeficiente de variación (154 %) confirma un proceso inestable: la dispersión supera con creces la media, situación típica de procesos aún en fase de control inicial (Montgomery, 2019).

A partir de las ocho incidencias consignadas, se agruparon los volúmenes por categoría, siguiendo la recomendación de agrupar causas afines antes de aplicar el análisis de Pareto (Ishikawa, 1985).

Los resultados del análisis se representan en la Figura 17 (diagrama de Pareto), mientras que la Figura 18 muestra la clasificación de causas mediante el diagrama de Ishikawa.

**Figura 17 Pareto de causas de desperdicio de concreto**

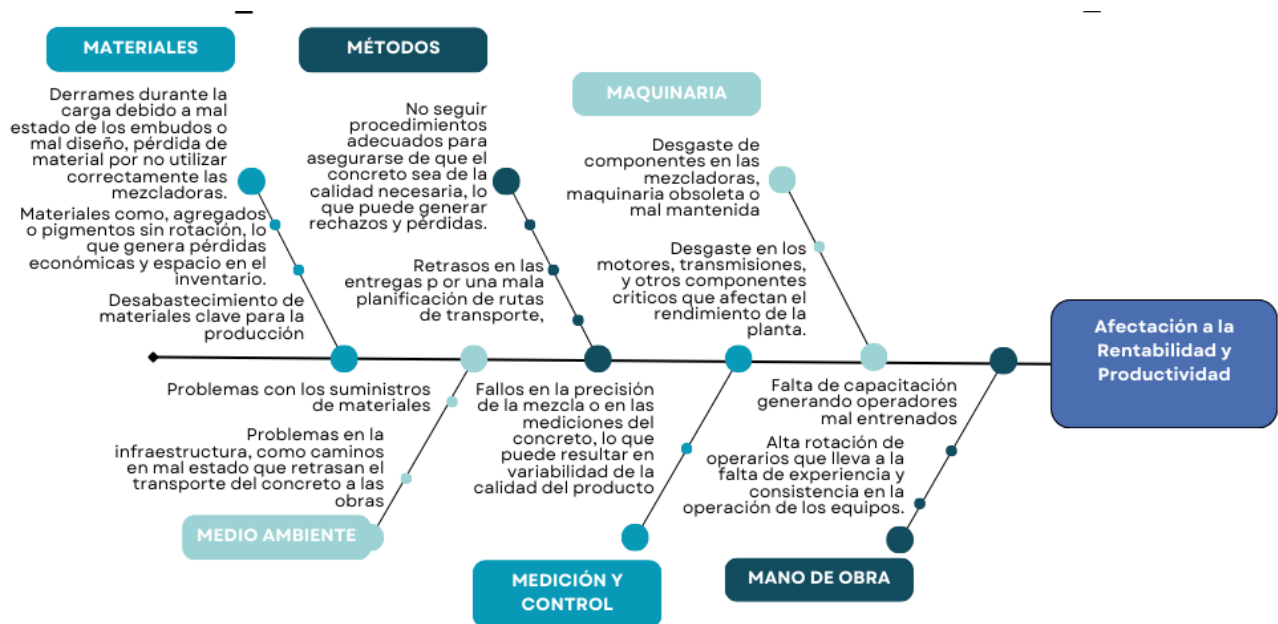
*Nota. Elaboración propia.*

El principio 80/20 se confirma: las tres primeras categorías —Calidad, Agua y Mantenimiento Automotriz— concentran el 72,6 % del volumen rechazado. Esta concentración sugiere que las acciones correctivas deben priorizarse en la calidad del producto, el control del agua en obra y el mantenimiento vehicular, tal como lo indica la regla de Pareto: “atacar primero lo vital y luego lo trivial” (Juran & De Feo, 2010).

## 5 Plan de mejora

Como medio de identificación de las causas que mayor afectan la rentabilidad y productividad se lleva a cabo un análisis mediante el uso del diagrama de Ishikawa, el cual permite identificar diversas causas en cada una de las áreas, determinando con ello cuáles generan mayor afectación.

**Figura 18** Identificación de problemáticas presentes en la planta.



*Nota. Elaboración propia.*

La planta de concreto enfrenta diversas problemáticas que afectan su rentabilidad y productividad. Existe una oportunidad de mejora en el mantenimiento de las mixers, al evidenciarse una serie de fallas recurrentes y paradas no planificadas, que incrementan los costos de reparación y reducen la disponibilidad de los equipos; el desperdicio de concreto debido a fallas en los embudos de carga y la falta de control durante la transferencia, lo cual aumenta los costos

operativos; el chispeo en los embudos de transferencia, que provoca pérdidas adicionales de material y retrabajo en la limpieza; la gestión ineficiente de escombros, que incrementa los costos de disposición y ocupa espacio en la planta; el inventario represado de pigmentos y aditivos, que inmoviliza capital y genera pérdidas por caducidad; la falta de capacitación del personal, que reduce la eficiencia y aumenta el riesgo de errores operativos; las oportunidades de establecer una gestión más eficiente en el almacenamiento de materiales, que, de no aplicarse, pueden causar pérdida de tiempo y disminuye la eficiencia operativa; la ineficiencia en la gestión de tiempos de ciclo de las mixers, lo que provoca retrasos y aumenta los costos operativos; las fallas en el control de calidad del concreto, que resultan en rechazos de material y afectan la satisfacción del cliente; y los problemas logísticos en el transporte del concreto, que causan demoras en las entregas y aumentan los costos operativos. Estas causas deben ser abordadas para aprovechar mejor los recursos, reducir costos y mejorar la productividad en la planta.

Por lo tanto, para el desarrollo del plan de mejora se seleccionaron las cinco causas que generan mayor impacto en la rentabilidad y la producción. A continuación, se presentan junto con su respectiva justificación.

- **Mantenimiento de las mixers:** El mantenimiento preventivo de las mixers es clave para asegurar la operatividad constante de las unidades y evitar costos imprevistos por reparaciones urgentes. Sin un mantenimiento adecuado, las mixers sufren fallas frecuentes que resultan en paradas no programadas, lo que retrasa la producción y genera pérdidas económicas por el tiempo de inactividad. Según los registros, el costo de las reparaciones y los tiempos de inactividad debido a las fallas mecánicas alcanzan sumas significativas. Priorizar esta causa permitirá reducir los costos operativos, mejorar la eficiencia y aumentar la disponibilidad de los equipos.

- **Desperdicio de concreto:** El desperdicio de concreto se presenta principalmente durante el proceso de transferencia, debido al desgaste en los canales carga o mal estado de las mezcladoras. Estos factores provocan que parte del material se pierda al momento del llenado, generando un desperdicio que no solo representa pérdidas materiales directas, sino también un aumento en los costos de transporte, almacenamiento y disposición. Además, el concreto desperdiciado podría haberse comercializado si se hubiera gestionado adecuadamente. Reducir esta causa permitirá optimizar el uso de los materiales, disminuir los costos de producción y mejorar la rentabilidad de la planta.
- **Chispeo en los embudos de transferencia:** El chispeo o salpicaduras durante el proceso de carga del concreto en las mixers generan pérdidas de material y requieren limpieza adicional, lo cual representa un retrabajo no planificado. Además, la acumulación de concreto seco en las áreas de trabajo afecta la limpieza y el orden en la planta, incrementando los costos operativos por el tiempo y recursos empleados en la limpieza. Esta causa es crítica porque impacta la eficiencia operativa y genera un desperdicio económico. Mejorar esta situación contribuirá a reducir los costos de retrabajo y fortalecer la gestión de materiales.
- **Gestión de escombros:** La gestión de escombros generados en la planta representa un costo elevado por su disposición final y transporte a vertederos. Este proceso no solo es costoso, sino que también ocupa espacio valioso en la planta, afectando la productividad. Además, una gestión ineficiente de los escombros puede generar impactos negativos en la organización de la planta. Implementar una mejora en la gestión de escombros, como la reutilización de materiales o la eficiencia en el transporte,

permitirá reducir costos operativos y mejorar el aprovechamiento de recursos, lo que se traducirá en un incremento de la rentabilidad.

- Inventario represado de pigmentos y aditivos: El inventario represado de pigmentos y aditivos genera costos adicionales por el riesgo de caducidad y la ocupación de espacio de almacenamiento innecesario. Además, mantener estos materiales almacenados sin uso inmoviliza capital que podría haberse destinado a otros recursos más productivos. Este problema también genera ineficiencia en la gestión de inventarios y un desperdicio de recursos. Al mejorar la rotación del inventario y reducir el exceso de materiales almacenados, se logrará una mejor gestión de recursos, se reducirá el riesgo de pérdidas por caducidad, y se racionalizarán los costos de almacenamiento.

Para una mayor justificación de la selección de estas problemáticas, se presenta a continuación los impactos en la rentabilidad y productividad que estas presentan para la planta.

Con respecto a las fallas en las mixers, se llevó a cabo la identificación del problema a partir del análisis de los casos de fallas operativas presentados en las mixers durante los años 2024 y 2025. El análisis de estos incidentes permitió evidenciar patrones de afectación en el transporte y vaciado del concreto, así como las consecuencias directas e indirectas derivadas de dichas fallas. Entre los principales impactos se identificaron la pérdida de material, el incremento de los costos asociados a esas pérdidas, los gastos de reparación y mantenimiento, además de retrasos en la ejecución de las actividades programadas. Este diagnóstico inicial fue fundamental para contar con una visión clara de la problemática y definir las acciones correctivas y preventivas necesarias dentro del plan de mejora.

Por lo tanto, se presenta a continuación el reporte de los incidentes que se presentaron durante el transcurso del año 2024.

**Tabla 6 Incidentes 2024 por fallas mecánicas en mixers.**

<b>Fecha</b>	<b>Placa de la mixer</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>Observación</b>	<b>Costo de reparación</b>
Enero 24 de 2024	CR1775	5,75	2h 35min 35seg	La mixer se varó en la obra por un fallo en el empalancado (Sistema de Selección de Cambios de velocidad), por dicha causa no llego a tiempo a la obra, por lo cual el cliente no recibió el concreto por perdida de calidad.	\$850.000
Febrero 29 de 2024	CR1805	8	2h 51min 34seg	La mixer presento una fuga de aceite la cual ocasionó que llegara con una hora de retraso a la obra, el cliente no recibió el concreto por perdida de calidad.	\$ 700.000
Marzo 8 de 2024	CR1910	7,5	1h 11min 26seg	La mixer se varó por un problema mecánico proveniente de origen eléctrico, una vez atentado por el mecánico, la entrega se hizo con 20 minutos de retraso y el cliente no recibió por perdida de calidad.	\$800.000
Junio 4 de 2024	CR1906	5,5	3h 40min 9seg	La mixer presento novedades mecánicas relacionada a fallas en embrague, por lo cual el concreto no fue recibido por falta de calidad.	\$4.000.000
Junio 4 de 2024	CR1910	5,5	1h 19min 55seg	La mixer presento novedades mecánicas relacionada a fallas en	\$4.000.000

<b>Fecha</b>	<b>Placa de la mixer</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>Observación</b>	<b>Costo de reparación</b>
				embrague, por lo cual el concreto no fue recibido por falta de calidad.	
Junio 28 de 2024	CR1860	9	Cancelado antes de salir	La mixer presento una falla eléctrica en el tambor generando una rotación lenta, afectando la calidad del concreto, por dicha razón el pedido de cancelo antes de salir para la obra.	\$6.000.000
Septiembre 30 de 2024	CR1794	8	2h 21min 54seg	La mixer se varó en la camino a la obra por un fallo en la caja de cambios, dicha causa género que se llegara a la obra con 30 minutos de retraso, por lo cual el cliente no recibió el concreto por perdida de calidad.	\$800.000
Total		49,25			\$17.150.000

*Nota. Elaborado mediante los datos históricos obtenidos de CEMEX.*

Mediante la información recolectada durante el año 2024, evidenció que las principales causas de fallas son la transmisión y el embrague, con tres casos registrados, dos casos por fallas en el sistema eléctrico y uno por fuga de aceite, de igual forma, dichas falla han aumento los tiempos de ciclos, generando que los lapsos de tiempo de las mixers sean mayores debido a las intervenciones de reparación. Como se evidencia en la mixer 1910, esta presentó durante el año dos fallas técnicas,

lo que representa una deficiencia en establecer mantenimientos preventivos para mitigar el desgaste de la estructura del equipo.

$$\text{Costos del concreto perdido} = 49,25\text{m}^3 \times \$389.282 \text{ pesos/m}^3 = \$19.172.138,5 \text{ pesos}$$

Al analizar los sobrecostos ocasionados por las fallas mecánicas presentadas durante el año 2024, se identificó que las pérdidas de concreto desperdiciado tuvieron un valor de \$19.172.138,5 pesos colombianos. A esta cifra se deben sumar los \$17.150.000 que corresponden a los gastos de reparación de las mixers, generando una sumatoria total de \$36.322.139,5 pesos, lo que representa un costo significativo que impacta directamente la economía de la empresa.

Respectivamente, a continuación, se presenta el reporte de los incidentes presentados en el primer semestre del 2025.

**Tabla 7 Incidentes 2025 por fallas mecánicas en mixers.**

<b>Fecha</b>	<b>Placa de la mixer</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>Observación</b>	<b>Costo</b>
Enero 31 de 2025	CR1899	7	1h 51min 25seg	La mixer presento un sobre calentamiento del motor en la obra producido por un fallo en el radiador, por lo cual no se pudo hacer el descargue a tiempo del concreto generando que el cliente no lo recibiera por falta de calidad.	\$2.900.000
Febrero 5 de 2025	CR1793	7	1h 30 min	La mixer se varó en la obra por un fallo en la palanca de cambio de velocidades, dicha causa género un de retraso en la descarga, por lo cual	\$850.000

Fecha	Placa de la mixer	m3	Tiempo de ciclo	Observación	Costo
				el cliente no recibió el concreto por pérdida de calidad.	
Marzo 21 de 2025	CR1794	8,5	Cancelado antes de salir	La mixer presento una falla mecánica en la canoa de descarga, por lo cual se canceló el pedido antes de salir de la planta, el concreto de dispuso como residuo en un lugar de disposición final certificado.	\$2.500.000
Abril 10 de 2025	CR1864	6	53min 26seg	La mixer no pudo llegar a tiempo a la obra por una falla de motor derivada de una fuga de aceite, se tuvo que cancelar el pedido.	\$1.200.000
Mayo 12 de 2025	CR1864	5,75	4h 5min 10seg	La mixer presento en obra una pérdida de potencia en la transmisión del tambor derivada de un desgaste de la caja reductora, por lo cual no se pudo hacer el descargue del concreto.	\$2.000.000
Total		34,25			\$9.450.000

*Nota. Elaborado mediante los datos históricos obtenidos de CEMEX*

Por otra parte, para el primer semestre de 2025, se identificó que las fallas mantienen la misma tendencia observada en el 2024. Registrándose, dos fallas relacionadas con la transmisión, dos con el motor y uno en el sistema de descargue. Asimismo, son recurrentes las fallas en mixers ya intervenidas, como el caso de la 1864, registrando dos averías en menos de 30 días.

$$\text{Costos del concreto perdido} = 34,25\text{m}^3 \times \$417.320 \text{ pesos/m}^3 = \$14.293.210 \text{ pesos}$$

De tal forma, los sobrecostos que se han generado por las fallas mecánicas presentadas en el primer semestre del 2025, evidencian pérdidas estimadas por \$ 14. 293.210 pesos colombianos por la pérdida del concreto desperdiciado. Adicionalmente, los costos de reparación alcanzaron los \$9.450.000, por lo tanto, el costo total de dichas fallas asciende a \$23.743.210. Al comparar estas cifras con las del 2024, se observa un incremento considerable de los casos presentados.

Por otra parte, en lo que respecta al desperdicio de concreto, se logró identificar de forma visual un comportamiento recurrente de chorreo en algunas mezcladoras. Dicho chorrero se presentaba de forma constante durante los procesos de cargue del concreto evidenciándose que éste iniciaba una vez la mezcladora superaba los 2 m<sup>3</sup> de llenado, cómo se evidencia a continuación.

**Figura 19 Registro fotográfico del desgaste en los canales de carga**

**Registro fotografico del suceso:**



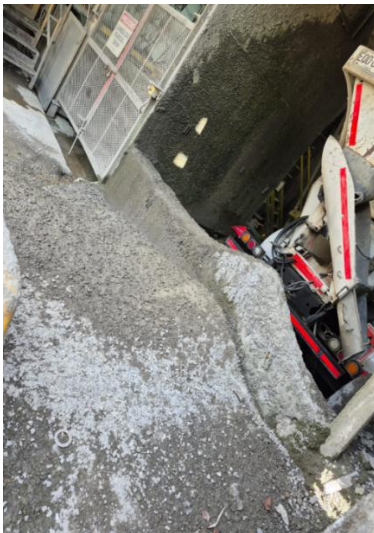
*Nota. Elaborado por el autor*

Por lo tanto, como se evidencia en la figura anterior las mixers presentaban desgaste en los canales de carga y desprendimiento en los puntos de acople; dicho deterioro conllevó a la pérdida de material durante el primer semestre de 2025 de aproximadamente 40 m<sup>3</sup> y durante 2024 cerca de 52 m<sup>3</sup>.

Al determinar un costo por metro cúbico promedio de \$422.000 pesos, se observa que en lo corrido del 2025 este chorreo equivale a una pérdida aproximada de \$17.000.000 pesos, y en 2024, \$22.000.000 pesos.

Asimismo, durante el proceso de cargue de concreto en las mezcladoras, se ha observado un fenómeno conocido como chispeo en el punto de transferencia entre embudos. Este fenómeno ocurre cuando el concreto, especialmente cuando es muy húmedo o altamente homogéneo, rebota al caer desde el primer embudo al segundo, generando salpicaduras que se depositan en el piso y paredes de la planta. A continuación, se evidencia, mediante el registro fotográfico, la presencia de partículas de concreto en paredes y demás estructuras que se encuentran en el punto de cargue.

**Figura 20** Material particulado adherido a las estructuras cercanas del punto de cargue



*Nota, Elaborado por el autor.*

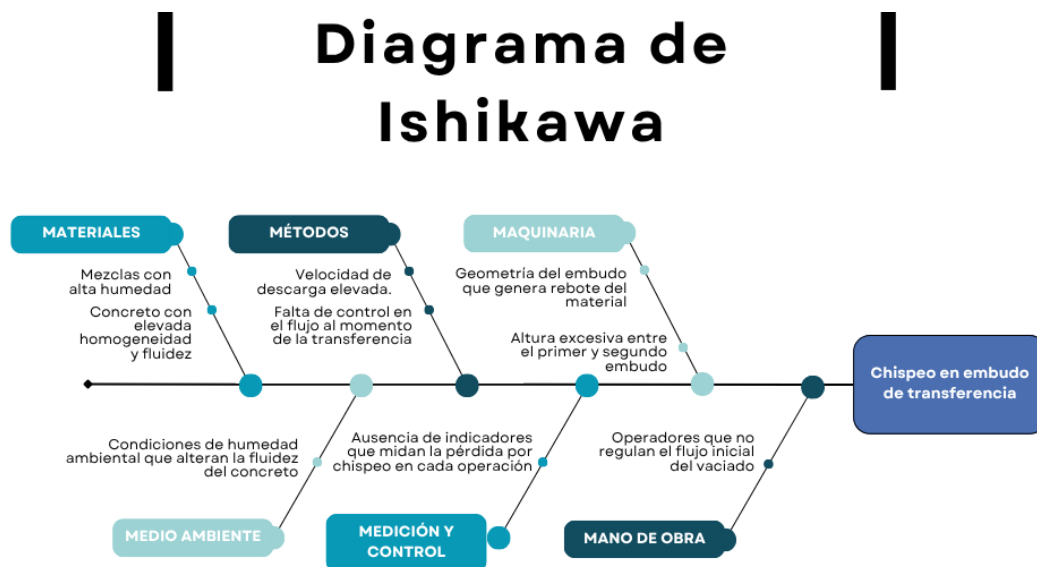
Aunque estas salpicaduras pueden parecer pequeñas, con el tiempo se solidifican en cerros de concreto seco que deben ser limpiados periódicamente. Esto implica el uso de personal, herramientas como martillos eléctricos y el tiempo en la operación de básculas para medir el volumen de material retirado, lo que afecta negativamente la eficiencia de la planta.

Por lo tanto, el objetivo del presente apartado es implementar una solución que reduzca bastante el chispeo en el punto de transferencia de concreto entre embudos, favoreciendo la limpieza del entorno, disminuyendo la pérdida de material y reduciendo así las pérdidas operativas asociadas al retrabajo.

Con el fin de identificar con precisión los factores que originan el chispeo en el punto de transferencia, se procedió a aplicar una metodología de análisis de causa-raíz. Para ello, se utilizó el diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, el cual permite clasificar las posibles causas del problema en categorías tales como maquinaria, materiales, métodos de trabajo, personal y entorno.

A continuación, se presenta el diagrama de Ishikawa, que sintetiza las posibles causas que contribuyen a la ocurrencia de este fenómeno.

**Figura 21 Diagrama de Ishikawa aplicado en la identificación de causas del chispeo.**



*Nota, Elaborado por el autor.*

Se puede notar que en el diagrama de Ishikawa las causas más significativas de la problemática de chispear se clasifican o engloban en tres categorías principalmente: materiales, maquinaria y

métodos. En la parte de materiales se refleja que la importante humedad y la fluidez del concreto, de un modo u otro, hacen aumentar la tendencia a salpicar en el momento en que cae el concreto; en la parte de maquinaria se pone de manifiesto que la geometría del embudo así como, además, la altura excesiva entre el primer embudo y el segundo, hacen favorable que el material rebote; y en lo que respecta a los métodos, la velocidad de la descarga y la inexistencia de un adecuado control del flujo en el momento de la transferencia hacen agravar el problema.

En lo que respecta a las restantes categorías maquinaria, medio ambiente, medición y control también participan con factores que, aunque no son causa principal, sí contribuyen a provocar el mantenimiento del fenómeno. Especialmente la falta de medición sistemática hace complicado conocer qué impacto real tiene este problema en este caso.

Con el fin de profundizar en la identificación de la causa raíz del chispeo en el punto de transferencia, se aplicó la metodología de los 5 porqués, la cual permite, mediante una secuencia de preguntas, ir desglosando las causas inmediatas hasta llegar al origen del problema.

**Tabla 8      Identificación de causa raíz del chispeo**

<b>Pregunta / Respuesta</b>	<b>Categoría Ishikawa</b>
1. ¿Por qué ocurre el chispeo? → Porque el concreto rebota y salpica al caer del primer embudo al segundo.	Maquinaria
2. ¿Por qué rebota y salpica? → Porque existe una altura considerable entre ambos embudos y el flujo no se guía de forma controlada.	Maquinaria/Métodos
3. ¿Por qué existe esa altura y falta de guía? → Porque el embudo del mezclador no cuenta con una prolongación que encamine el material directamente al embudo del mixer.	Maquinaria

Pregunta / Respuesta	Categoría Ishikawa
4. ¿Por qué no cuenta con esa prolongación? → Porque el diseño original no contempla un material flexible que pueda insertarse en el embudo del vehículo sin interferir con su operación.	Maquinaria
5. ¿Por qué el diseño no contempla esa prolongación flexible? → Porque no se había identificado previamente el chispeo como un problema que generara pérdidas acumuladas y retrabajo significativo.	Medición y control

*Nota. Elaborado por el autor.*

A partir de la primera observación asociada al rebote de los materiales caídos en embudos se identificaron un conjunto de factores asociados, principalmente a la maquinaria, como la excesiva altura de los embudos y la falta de un sistema de guía para el flujo. La observación también mostró que el diseño no era capaz de considerar elementos flexibles de canalización del material y, además, no existían indicadores que midieran ni visibilizaran las pérdidas por chispeo, lo que implicaba que el problema no podía intentarse resolver apropiadamente.

Por otra parte, el desarrollo de escombros es una problemática en la planta de operaciones que se ha mencionado. Los materiales que llegan a generarse son provenientes de distintas fuentes, como las pruebas de asentamiento, los cilindros fallados, los residuos de lavado de mezcladoras y otros. En la actualidad, estos escombros son una carga tanto operativa como económica, ya que deben ser gestionados por gestores ambientales, los cuales tienen unos costos altos. Asimismo, la acumulación de dichos residuos también afecta el orden y la falta de disponibilidad del espacio en la planta, como se indica en la siguiente evidencia fotográfica.

**Figura 22 Evidencia de escombros presentes en la planta**



*Nota. Elaborado por el autor.*

Por consiguiente, el objetivo es reducir el volumen y costo asociado a la disposición de escombros, mediante la implementación de un sistema de retorno y reaprovechamiento en colaboración con las minas proveedoras de agregados.

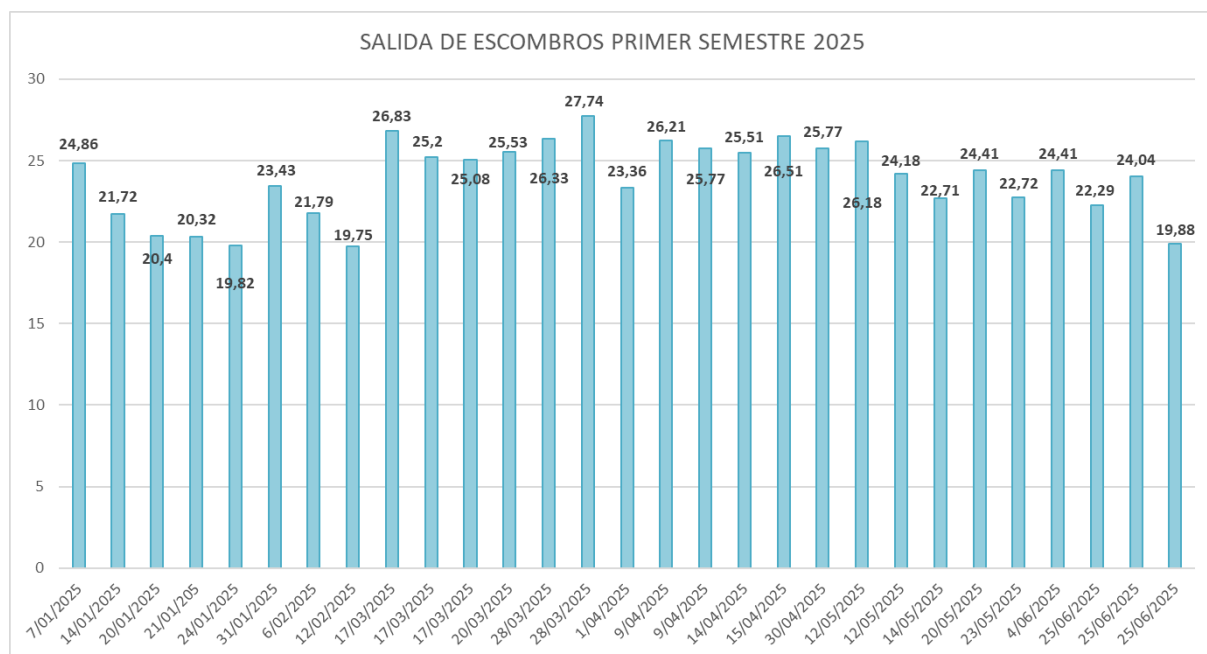
**Figura 23 Pruebas de cilindros, muestras de asentamiento y residuos del lavado de mixers.**



*Nota. Elaborado por el autor.*

La gestión de dichos residuos es llevada a cabo mediante tres proveedores autorizados; Ladrillera Santa María; Reciclados Industriales; y JM. Dichos proveedores ofrecen un servicio de eliminación de estos escombros, cobrando un valor de 27.500 pesos por tonelada, en este precio se encuentra incluido el precio de transporte y manejo de residuos. Por ende, se presentan las diversas cantidades de escombros que salieron de la planta durante el primer semestre del 2025.

**Figura 24 Salida de escombros primer semestre 2025**



*Nota. Elaborado a través de los datos históricos de CEMEX.*

Respectivamente, en el primer semestre del 2025 se registró un total de 692,75 toneladas de escombros que salieron de la planta a su proceso de disposición final, observándose así que los volúmenes mensuales se mantuvieron relativamente estables, con picos significativos en marzo y abril, alcanzando valores cercanos a las 27 toneladas por semana. No obstante, se evidencian semanas con caídas notorias, especialmente a finales de junio, donde los registros estuvieron por debajo de las 20 toneladas. Sin embargo, la generación de escombros es constante, lo cual se traduce

en un gasto de eliminación recurrente que impacta de forma directa los costos operativos de la planta, tanto por el transporte como por las tarifas de disposición final.

$$\begin{aligned} \text{Gasto total de eliminación} &= 692,75 \text{ Toneladas de escombros} * 27.500 \text{ Tonelada} \\ &= \$19.050.625 \end{aligned}$$

Por lo tanto, durante el primer semestre del 2025 la planta generó un sobrecosto operativo de \$19.050.625 pesos por el concepto de disposición final y transporte de escombros, evidenciándose así la necesidad de una medida de mejora que permita la reutilización de dichos escombros.

Por último, durante el diagnóstico realizado en septiembre de 2024, se identificaron grandes cantidades de pigmentos y aditivos almacenados en bodega sin registrar movimientos de consumo. Estos insumos, en su momento, fueron adquiridos y utilizados parcialmente; sin embargo, permanecieron en almacenamiento sin rotación debido a una deficiente gestión de inventarios, en la que se solicitaba nuevo producto sin dar salida al existente. Esta situación generó acumulación innecesaria, ocupación de espacio y un riesgo latente de pérdida de material, como se presenta a continuación.

**Tabla 9      Inventario de materia prima acumulada.**

<b>PIGMENTOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>RANGO ESTIMADO</b>	<b>COSTOS</b>
	<b>(kg)</b>	<b>KG COSTO</b>	
ADICIONANTE, PIGMENTO AMARILLO, Y4021	180	15.000	2.700.000
COLOR CONCRE., M-4781, 25KG, PQUIM. NUBIOLA	604,13	20.000	12.081.700
COLOR CONCRE, BAYFERROX NEGRO 345, SACO 25	506,75	15.000	7.601.250
COLOR CONCRE, DIÓXIDO DE TITANIO, SACO 25K	350	12.000	4.200.000

PIGMENTOS	CANTIDAD (kg)	RANGO ESTIMADO KG COSTO	COSTOS
Total	1.640,88		\$26.583.950

*Nota. Elaborado mediante los datos históricos obtenidos de CEMEX.*

Durante el diagnóstico se identificó un total de 1.640,88 kg de pigmentos, con un valor estimado de \$26.583.950, los cuales se encontraban sin rotación ni consumo. De estos, los productos Color Concre M-4781 y Bayferrox Negro 345 son los que representaron la mayor parte del inventario acumulado y generaron una alta preocupación debido a su elevado valor y volumen. Dichos pigmentos se encuentran registrados desde el 2023 en un inventario realizado en julio de dicho año.

**Figura 25 Registro histórico del inventario retenido**

Inventario de Producción				
Planta				
Clasificación	FAMILY			
Fecha	13.Julio.2023			
Descripción	UMB	Inventario Inicial Día	Inventario Disponible	Inventario Final Mes
... ISOXEL 436	L	2.775,270	2.574,244	2.574,244
... ISORETARD 212	L	1.016,459	904,399	904,399
... CX ISOFLOW 751	L	5.219,705	4.811,118	4.811,118
... ISOFORM 3200	L	180	180	180
Sin clasificación 1	TN	318,980	384,136	384,136
... GRAVA 1/2" GRAVAS Y ARENAS DEL CAUCA	TN	0	0	0
... Cementante Vertua Zero	TN	1,866-	1,866-	1,866-
... ARENA CANTRAX PEP PLANTA ESTRELLA	TN	0	0	0
... GRAVA 1/2" CANTRAX PEP PLANTA ESTRELLA	TN	0	0	0
... GRAVA 1" CANTRAX PEP PLANTA ESTRELLA	TN	0	0	0
... ARENA CANTRAX DOBLETROQUE P. ESTRELLA	TN	320,846	386,002	386,002
CEMENTO	TN	213,724	200,793	200,793
... CEM ART NTC121 2014 CEMEX GRANEL.	TN	213,724	200,793	200,793
ROCAS Y MINERALES	TN	1.364,311	1.383,826	1.383,826
... GRAVA ANDESITA 13 MM (1/2")	TN	383,711	348,775	348,775
... GRAVA ALUVIAL-60-80 (3/4-1" ),65 S102,HU	TN	980,600	1.035,051	1.035,051
... Grava 1 Gravas Y Arenas Del Cauca	TN	0	0	0
COMBUSTIBLES PRIMARIOS	GLN	842,994	842,994	842,994
... DIESEL,SUPER DIESEL,EXXONMOBIL	GLN	842,994	842,994	842,994
CONCRETO, FIBRAS Y ADITIVOS	KG	2.019,035	1.986,035	1.986,035
... ADICIONANTE, PIGMENTO AMARILLO, Y4021	KG	180	180	180
... COLOR CONCRE.,M-4781,25KG,PQUIM. NUBIOLA	KG	604,135	604,135	604,135
... FIBRAPLAS CONCRET GRIS	KG	51,750	51,750	51,750
... FIBRAS CONCRE.,POLIPROPILENO,TOXEMENT,EU	KG	326,400	293,400	293,400
... COLOR CONCRE.,BAYFERROX NEGRO 345,SACO 25	KG	506,750	506,750	506,750
... COLOR CONCRE.DIOXIDO DE TITANIO,SACO 25K	KG	350	350	350
CONCRETO, FIBRAS Y ADITIVOS	L	226,763	226,763	226,763
... ADI. CONC. ESP.,TOXEMENT,GRANEL,INCORPOR	L	226,763	226,763	226,763
CONCRETO, FIBRAS Y ADITIVOS	TN	45,384	30,353	30,353
... ADI. CONC. ESP.,CENIZA VOLANTE,GRA	TN	45,384	30,353	30,353
MATERIA PRIMA	TN	1.104,344	995,075	995,075
... ARENA ANDESITA No. 4	TN	1.104,344	995,075	995,075
ADITIVOS CONCRETO	L	6.478,782	6.077,404	6.077,404
... ISOPLAST 1600	L	4.944,917	4.543,539	4.543,539
... ISOKHORE 2500	L	32,416	32,416	32,416
... ISOFUGE 5190	L	7,123	7,123	7,123
... ISODENSE 250C	L	1.494,326	1.494,326	1.494,326

*Nota. Registros de CEMEX.*

La permanencia sin movimiento de estos insumos elevó el riesgo de deterioro, caducidad o pérdida total, lo que hubiera supuesto un impacto notablemente negativo en la rentabilidad de la empresa, ya que se pone de manifiesto la pobre gestión de inventarios, pues se adquirieron nuevos insumos sin dar movimiento al material existente, inmovilizando capital en insumos con alta probabilidad de evaluarse como pérdidas. Para conocer la causa raíz de tal situación se realizó un análisis de causa raíz a través del diagrama de Ishikawa acompañado del análisis de los 5 porqués.

**Figura 26 Diagrama de Ishikawa sobre las causas de la acumulación de materia prima.**



*Nota. Elaboración propia*

Este diagrama evidencia que la acumulación de pigmentos y aditivos sin rotar existe porque no hay una única razón que lo explique, sino que se asume que hay una serie de fallos en la planificación, en el control y en la comunicación existente. No obstante, se observa un patrón muy claro que parte, en primer lugar, de la inexistencia de las metodologías que conciernen al control y la falta de los pertinentes controles periódicos, que frecuentemente se ven acompañados de la falta de las útiles herramientas tecnológicas y de la poca comunicación que hay entre las áreas;

esto lleva a no percatarse a tiempo del bajo consumo que hacen algunos de los insumos y se ve acentuado por la compra en volúmenes no adecuados y una gran variabilidad de la demanda, que acaban por dar lugar a un exceso de stock que no se redistribuye ni, tan siquiera, se gestiona, prolongándose el problema.

**Tabla 10 Identificación de causa raíz de la acumulación de materia prima**

Pregunta / Respuesta	Categoría Ishikawa
1. ¿Por qué hay pigmentos y aditivos acumulados sin uso? → Porque no se han utilizado en producción durante años.	Métodos
2. ¿Por qué no se han utilizado en producción? → Porque no se almacenan bien y se toman los productos nuevos, dejando sin usar los pigmentos o aditivos antiguos que fueron pedidos anteriormente.	Métodos
3. ¿Por qué no se prioriza su uso? Porque los operadores toman primero los productos que están al alcance inmediato y, al almacenar, colocan los productos nuevos al frente, dejando los más antiguos en la parte trasera sin rotación.	Mano de Obra
4. ¿Por qué no existe un procedimiento formal de rotación? → Porque no se ha establecido una metodología formal de gestión de inventarios que incluya procedimientos claros para la rotación adecuada de los productos, lo que genera una falta de control sobre el orden y uso de los insumos almacenados.	Método
5. ¿Por qué no se ha implementado dicha? → Porque hasta ahora no se ha identificado como un problema prioritario, ya que la gestión del inventario se ha centrado principalmente en mantener la disponibilidad de productos, sin darle la debida importancia una gestión adecuada y rotación de los mismos.	Medición y control

*Nota. Elaboración propia*

Por lo tanto, se establece que la raíz de esta problemática está dada por la inexistencia de una metodología de gestión y rotación de inventarios que incluya procedimientos claros y control en

el almacenamiento y consumo de los pigmentos y aditivos, además de la falta de capacitación y supervisión de las personas en cuanto a la adecuación de las prácticas de rotación, lo que lleva a las acumulaciones, obsolescencia y pérdidas de estos insumos.

Seguidamente, se presentan los cinco factores que se desarrollan en el plan de mejora, los cuales consisten en implementar, en primera instancia, un plan preventivo de mantenimiento de las mezcladoras, por medio del cual se pueden detectar problemas anticipadamente con una reducción de costos de mantenimiento; seguidamente, la implementación de un mantenimiento en los canales de transferencia de las mezcladoras, con una reducción de los residuos por derramado que se presentan. Por otra parte, se propone incluir una lámina en la producción durante el cargue del concreto como una manera de reducir costos de limpieza; asimismo, un plan de reintegración de escombros como materia prima, de modo que se fomente una economía circular y se reduzcan los costos de disposición de estos residuos; y, naturalmente, la gestión integral de inventarios, que permite detectar acopios de materias primas, priorizando su utilización y evitando la pérdida del material.

### **5.1 Mantenimiento preventivo de las mixer**

El mantenimiento adecuado de las mezcladoras mixers es uno de los puntos clave para el correcto funcionamiento de la planta de concreto, ya que estas máquinas se constituyen como el punto céntrico del proceso de producción, siendo las responsables de transportar la mezcla desde la planta hasta el punto de entrega. Por lo tanto, el desgaste natural de las piezas que las componen, así como la acumulación del uso intensivo diario, hace necesario llevar a cabo un control técnico integral y constante. Por consiguiente, las fallas en estos vehículos no solo representan un riesgo de interrupción de las operaciones, sino que también pueden afectar la calidad del concreto y

generar pérdidas por devoluciones de producto no conforme, así como sobrecostos por mantenimientos correctivos no planificados

Por lo tanto, el presente apartado tiene como objetivo implementar un programa de diagnóstico preventivo para las mezcladoras con la finalidad de mitigar fallas inesperadas y minimizar los sobrecostos que traen consigo estas.

Por consiguiente, se establece como metodología de mejora la aplicación del ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar).

### 5.1.1 Planear

En esta etapa, se establecen los **objetivos de mejora** a partir de los resultados previos obtenidos del análisis de fallas de las mixers, con el fin de mejorar su rendimiento y reducir los costos asociados a las fallas mecánicas y pérdidas de concreto. A partir de los incidentes ocurridos durante los años 2024 y 2025, se identificaron los problemas recurrentes y se plantean las siguientes acciones para su mejora:

1. Objetivo de Mejora 1: Disminuir el tiempo de inactividad de las mixers por fallas mecánicas y asegurar la puntualidad en las entregas.
  - Actividades: Aplicar un plan de mantenimiento preventivo, incluyendo revisiones periódicas y el cambio de piezas críticas (filtros de aceite, sistemas de transmisión, etc.).
  - Recursos necesarios: Materiales de mantenimiento, piezas recambios (filtros, bandas, etc.), personal técnico cualificado.
2. Objetivo de Mejora 2: Disminuir los costos por reparaciones correctivas no planificadas y pérdidas de concreto

- Actividades: Aplicar un plan de mantenimiento preventivo cada 600 km de operación del mixer que asegure que las piezas estén en condiciones adecuadas con el fin de evitar fallas severas.
  - Recursos necesarios: presupuesto para mantenimiento, piezas recambios, herramientas de diagnóstico y personal especializado.
3. Objetivo de Mejora 3: Aumentar la vida útil de las mixers a partir de un enfoque planificado y rutinario del mantenimiento de este tipo de elementos
- Actividades: Programar un plan de mantenimiento escalable para toda la flota de mixers, es decir, que cada mixer reciba el mantenimiento preventivo garantizando el mismo tipo de condiciones
  - Recursos necesarios: herramientas de diagnóstico y seguimiento, recursos de capacitación del personal y de implementaciones de programación de mantenimiento.

Por consiguiente, ante los casos presentados, se establece un plan de mantenimiento preventivo dividido en cuatro etapas cada una aplicada con un lapso de 600 km operativos por las mixer.

La etapa inicial denominada como PM1 consiste en el cambio de filtros de aceite de motor y la filtración de motor y de combustible, esta tiene un valor de \$ 2.167.469 pesos colombianos por mixer.

La siguiente etapa con un valor de \$2.523.366 de pesos colombianos por mixer denominada como PM2 en la cual se lleva a cabo un nuevo cambio de filtros de aceite de motor y filtración de motor y combustible, adicionalmente se realiza el desmonte de ruedas acompañado de una análisis del estado del rodamiento, bandas y suspensión, lo que permite la programación de cambio temprano o inmediato de estos si no se encuentran en estado óptimo.

La tercera etapa clasificada como PM3 se lleva a cabo todo el proceso aplicado en el P2, adicionándole el cambio de bandas si estas no fueron cambiadas con anterioridad, dicho proceso tiene un valor de \$2.831.089 pesos colombianos por mixer.

Y por último, dentro del plan se considera una última etapa clasificada como PM4, en esta etapa se realiza el cambio de todos los aceites y filtros, se desmontan las ruedas y se realiza una inspección y un engrase del equipo, validando que se encuentre en perfecto estado o establecer una programación temprana para cambios o hacerlos de forma inmediata, dicha etapa tiene un valor de \$4.714.116 pesos colombianos por mixer.

### 5.1.2 Hacer

Con la formulación del plan de mantenimiento preventivo, cuyo propósito es identificar de manera oportuna las fallas que puedan presentarse en las mixer y, de esta forma, mitigar los sobrecostos asociados a la pérdida de concreto y a las reparaciones, se determinó iniciar el año 2025 con la aplicación de un programa piloto, seleccionando para este fin la mixer 1902.

Seguidamente, se presentan cada una de las revisiones llevadas a cabo para la mixer seleccionada.

**Figura 27 Mantenimiento preventivo PM1**

Nombre de Pers.		Cant	Tiem	Duración		Fecha
Puesto de Trabajo	Operación	Pers	Est. Ejec	Actual		de termino
<p><b>SE CIERRA POR AJUSTE EN EL PLAN DE MTTO</b></p> <p>Mano obra Interna</p>						
<p>No. De personal asignado</p> <p>EQM 0030 SE CIERRA POR AJUSTE EN EL PLAN DE MTTO</p>						

Nota. Orden obtenida de CEMEX

En la etapa inicial PM1, que consiste en el cambio de filtros de aceite de motor y la filtración de motor y de combustible, no se presentó ninguna novedad. Esta etapa se llevó a cabo conforme a lo programado, sin ningún inconveniente o anomalía.

**Figura 28** Mantenimiento preventivo PM2

Materiales						
No. de operación	Posición	No. de componente	Descripción de servicio	Cant. Planeada	Unidad	Cant Actual
0040	0010	1000208074	FILTRO,FLEETGUARD,LF17579,ACEITE	1,000	EA	—
0040	0020	1000208078	FILTRO,FLEETGUARD,FS53016	1,000	EA	—
0040	0030	1000208079	FILTRO,FLEETGUARD,FF63013	1,000	EA	—
0040	0040	1000208084	FILTRO,DONSSON,G922	1,000	EA	—
0040	0050	1000208075	FILTRO,DONSSON,DAC038	1,000	EA	—
0040	0060	1000208077	FILTRO,DONSSON,DA8133	1,000	EA	—
0040	0070	1000208076	FILTRO,DONSSON,DA9133	1,000	EA	—
0040	0080	1000228044	SELLO ANILLO O,3104021-4EB1,FOTON	4,000	EA	—
0040	0090	1000229188	SELLO ANILLO O,2403090D1H,FOTON,SEMIEJE	4,000	EA	—
0040	0100	1000221693	SELLO ANILLO O,QT65BQ0-3001041,FOTON	2,000	EA	—
0040	0120	1000058130	ANTICONGELANTE,129-2151,CAT.3.78L	1,000	EA	—
0040	0130	1000153271	ACEITE,MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40,208L	52,000	EA	—

*Nota. Orden obtenida de CEMEX*

La fase PM2 aplicada en la prueba de la mixer, se centró en el cambio de filtros de aceite de motor, filtración de combustible y otros componentes críticos del sistema. En dicha fase tuvo lugar el cambio de filtros como el FLEETGUARD LF17579, FSS3016, DONSONN, entre otros, los cuales garantizan la correcta circulación del aceite y del combustible en el motor, evitando la acumulación de contaminantes que podrían dañar los sistemas internos. Aparte del cambio de filtros se lleva a cabo un desmonte de las ruedas para revisar el estado de los rodamientos, las bandas y la suspensión, lo que permite anticipar el desgaste o la falta de operaciones.

**Figura 29** Mantenimiento preventivo PM3

Materiales						
No. de operación	Posición	No. de componente	Descripción de servicio	Cant. Planeada	Unidad	Cant Actual
0050	0010	1000208074	FILTRO,FLEETGUARD,LF17579,ACEITE	1,000	EA	—
0050	0020	1000208078	FILTRO,FLEETGUARD,FS53016	1,000	EA	—
0050	0030	1000208079	FILTRO,FLEETGUARD,FF63013	1,000	EA	—
0050	0040	1000208080	FILTRO,FLEETGUARD,AF27817	1,000	EA	—
0050	0050	1000208085	FILTRO,FLEETGUARD,AS2474	1,000	EA	—
0050	0060	1000208084	FILTRO,DONSSON,G922	1,000	EA	—
0050	0070	1000208075	FILTRO,DONSSON,DAC038	1,000	EA	—
0050	0080	1000208077	FILTRO,DONSSON,DA8133	1,000	EA	—
0050	0090	1000208076	FILTRO,DONSSON,DA9133	1,000	EA	—
0050	0100	1000212472	H4173260003A0,FOTON,CONTROLLER ASSY	1,000	EA	—
0050	0110	1000228044	SELLO ANILLO O,3104021-4EB1,FOTON	4,000	EA	—
0050	0130	1000221693	SELLO ANILLO O,QT65BQ0-3001041,FOTON	2,000	EA	—
0050	0140	1000212472	H4173260003A0,FOTON,CONTROLLER ASSY	1,000	EA	—
0050	0150	1000153271	ACEITE,MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40,208L	57,000	EA	—
0050	0160	1000054567	GRASA,MOBILGREASE XHP 222,180KG,LITHIUM,	38,000	KG	—
0050	0170	1000058130	ANTICONGELANTE,129-2151,CAT,3.78L	1,000	EA	—
0050	0180	1000201866	ACEITE LUB,MOBILUBE HD-A 85W-90,208 L,EX	44,000	L	—
0050	0190	1000054484	ACEITE HID,MOBIL DTE 26 ,208L,EXXNMOBI	44,000	L	—

*Nota. Orden obtenida de CEMEX.*

La etapa PM3 se caracteriza por aplicar el proceso completo realizado en la etapa PM2, pero con la adición de un cambio de bandas ya que no fueron reemplazadas anteriormente. En cuanto a las actividades realizadas, se procedió con el reemplazo de los filtros esenciales, como los FLEETGUARD LF17579 para aceite, FLEETGUARD FS53016 para combustible, y otros filtros adicionales de la línea DONSSON, manteniendo así la limpieza y eficiencia del motor y del sistema de combustible, evitando contaminantes que puedan comprometer el rendimiento de la mixer.

Asimismo, se realizaron las inspecciones y reemplazos de otros componentes, como los sellos “O”, para evitar fugas y asegurar la integridad de las conexiones. En esta etapa, también se verificó el estado de los rodamientos, las bandas y la suspensión, componentes que fueron revisados cuidadosamente durante la etapa PM2, con la diferencia de que, en esta fase, si las bandas no se habían reemplazado previamente, se procedió a su cambio.

**Figura 30** Mantenimiento preventivo PM4

Materiales						
No. de operación	Posición	No. de componente	Descripción de servicio	Cant. Planeada	Unidad	Cant. Actual
0060	0010	1000208074	FILTRO,FLEETGUARD,LF17579,ACEITE	1,000	EA	—
0060	0020	1000208078	FILTRO,FLEETGUARD,FS53016	1,000	EA	—
0060	0030	1000208079	FILTRO,FLEETGUARD,FF63013	1,000	EA	—
0060	0040	1000208080	FILTRO,FLEETGUARD,AF27817	1,000	EA	—
0060	0050	1000208085	FILTRO,FLEETGUARD,AS2474	1,000	EA	—
0060	0060	1000208084	FILTRO,DONSSON,G922	1,000	EA	—
0060	0070	1000208083	FILTRO,DONSSON,G921	1,000	EA	—
0060	0080	1000208075	FILTRO,DONSSON,DAC038	1,000	EA	—
0060	0090	1000208077	FILTRO,DONSSON,DA8133	1,000	EA	—
0060	0100	1000208076	FILTRO,DONSSON,DA9133	1,000	EA	—
0060	0110	1000232873	ROTULA,1424217200075,FOTON	2,000	EA	—
0060	0120	1000232874	ROTULA,1424217200071,FOTON	2,000	EA	—
0060	0130	1000232875	ROTULA,1424217200101,FOTON	2,000	EA	—
0060	0140	1000232876	ROTULA,1424217200091,FOTON	2,000	EA	—
0060	0150	1000232879	ROTULA,1424217200104,FOTON	2,000	EA	—
0060	0160	1000236694	PARTE CARROCERIA,H0172210101A0,FOTON,CAB	2,000	EA	—
0060	0170	1000228044	SELLO ANILLO O,3104021-4EB1,FOTON	4,000	EA	—
0060	0180	1000229188	SELLO ANILLO O,2403090D1H,FOTON,SEMIEJE	4,000	EA	—
0060	0190	1000221693	SELLO ANILLO O,QT65BQ0-3001041,FOTON	2,000	EA	—
0060	0200	1000199031	VALV., FOTON, H4356B02001A0	1,000	EA	—
0060	0210	1000280789	VALV.,9730110040,WABCO	1,000	EA	—
0060	0220	1000395996	ANTICONGELANTE,ES COMPLEAT,FLEET,5G	1,000	EA	—
0060	0240	1000181264	ACEITE HID,MOBIL DTE 26,19 L,EXXONMOBIL,	3,000	EA	—
0060	0250	1000153271	ACEITE,MOBIL,DELVAC MX ESP 15W-40,208L	34,000	EA	—
0060	0260	1000201866	ACEITE LUB,MOBILUBE HD-A 85W-90,208 L,EX	34,000	L	—

*Nota. Orden obtenida de CEMEX*

La fase P4, dio lugar a la fase final del plan de mantenimiento, y se centró en una revisión y el cambio de componentes críticos de forma integral. En esta fase se produce un cambio total de aceites y de filtros, lo que se traduce en los filtros de aceite de motor, de combustible y de otros sistemas de filtración, así como el cambio de aceites del sistema de transmisión y del sistema hidráulico, etc. También se realiza la extracción de las ruedas para realizar una inspección pormenorizada de los componentes asociados como los rodamientos, etc., y se realiza el engrase general del equipo para garantizar su funcionalidad.

En esta fase, además de los filtros de aceite y combustible, se llevaron a cabo cambios de piezas adicionales, como la sustitución de las rótulas de las diversas referencias FOTON, que son una parte indispensable de la suspensión y la dirección del equipo para que puedan seguir funcionando correctamente y a su vez sirve para garantizar su estabilidad y su capacidad de maniobrabilidad.

También se revisaron y cambiaron componentes de la carrocería, como el H0172210101A0, que permiten mantener la integridad estructural de la mixer, evitando que existan fallos o daños que puedan dar lugar a una disminución de las características de prestaciones o de seguridad.

También se realizaron cambios de las válvulas tanto en el sistema FOTON como en el sistema WABCO, con la finalidad de garantizar las presiones y los controles hidráulicos óptimos. Se realizó también el cambio de anticongelante ES COMPLETEAT, FLEET que garantiza el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración en condiciones climáticas diversas. Respectivamente, la revisión exhaustiva de todos estos componentes además del cambio de aceites como el del MOBIL DTE 26 para el sistema hidráulico o el de MOBILUBE HD-A 85W-90 para la transmisión permiten garantizar que el equipo funcione eficientemente y a la vez de una forma segura.

### **5.1.3 Verificar**

En cuanto a la verificación de las mixers seleccionadas, se puede confirmar que, a lo largo del año 2025, la mixer seleccionada no presentó ninguna falla significativa que afectara su operatividad o generara inconvenientes en los tiempos de entrega o calidad del concreto. A pesar de los incidentes que ocurrieron en el primer semestre del año, estos fueron aislados y no constituyen un patrón recurrente que pudiera comprometer la eficiencia de la mixer durante el resto del año. Los informes de mantenimiento preventivo aplicados han mostrado un alto nivel de efectividad en la reducción de problemas técnicos, lo que permitió minimizar el impacto de las averías.

A continuación, se presenta una tabla con el ciclo de tiempo de la mixer durante los meses de enero a julio de 2025, destacando el rendimiento con un promedio favorable en cada mes.

**Tabla 11** Tiempos de ciclos presentados por la mixer intervenida

Mes	Promedio de tiempo de ciclo	Observaciones
Enero	1h 15min 42seg	Buen desempeño, sin fallas importantes, tiempos razonables.
Febrero	1h 30min	Operación dentro de lo esperado, sin incidentes relevantes.
Marzo	1h 20min 50seg	Tiempos de ciclo eficientes, sin retrasos significativos.
Abril	1h 30min 12 seg	Ejecución fluida, sin fallas ni retrasos relevantes.
Mayo	2h 15seg	Desempeño dentro de los parámetros ideales.
Junio	1h 45min	Sin problemas mecánicos, tiempos estables y consistentes.
Julio	1h 35min 40seg	Rendimiento estable, sin nuevas fallas reportadas.

*Nota. Elaborado mediante los registros obtenidos de CEMEX.*

A lo largo de los primeros siete meses de 2025, la mixer seleccionada mantuvo un promedio de ciclo de tiempo favorable, con un desempeño generalizado sin interrupciones ni problemas mecánicos relevantes. Esto refleja la efectividad de los mantenimientos preventivos implementados a través del plan.

#### **5.1.4 Actuar**

Tras el análisis de los resultados obtenidos con la mixer 1902 durante la implementación del plan de mantenimiento preventivo, se confirma que la metodología aplicada fue exitosa en la reducción de tiempos de inactividad, mejora en el desempeño de la mixer y reducción de los sobrecostos. En consecuencia, la siguiente acción es escalar el plan de mantenimiento preventivo a toda la flota de mixers para estandarizar los procesos y consolidar las mejoras.

#### **Acciones a Tomar:**

1. Estandarización del Mantenimiento Preventivo:

- Se estandariza el plan de mantenimiento preventivo aplicado en la mixer 1902 y se implementa de manera regular para todas las mixers de la flota. Esto incluye la ejecución de las etapas PM1, PM2, PM3 y PM4 para asegurar la máxima eficiencia y la reducción de los tiempos de ciclo.

2. **Calendario de Ejecución del Mantenimiento:**

- El mantenimiento se realizará de manera programada según el número de operaciones de cada mixer, es decir, cada 600 km de operación o de acuerdo con el ciclo de vida de cada equipo. Esto asegura que todas las mixers se mantengan en condiciones óptimas a lo largo del tiempo.

3. **Monitoreo Continuo de Resultados:**

- Aunque la implementación de este proceso se estandariza, se debe monitorear continuamente los resultados de las mixers que reciban el mantenimiento preventivo para confirmar que los beneficios obtenidos en el plan piloto se mantienen a lo largo de todo el proceso.

4. **Escalabilidad a Nuevas Unidades:**

- Para cualquier nueva mixer que ingrese a la flota, el plan de mantenimiento preventivo debe aplicarse de manera inmediata y sistemática, garantizando que todas las unidades estén operando bajo el mismo estándar de calidad.

5. **Ajustes según Resultados de Monitoreo:**

- A medida que se implementa a escala, se realizarán ajustes adicionales según los resultados obtenidos. Por ejemplo, si alguna mixer muestra un patrón de fallas diferente o más grave, se revisarán los procedimientos para incorporar mejoras adicionales.

### **Beneficios Esperados**

#### **1. Reducción Significativa de los Sobrecostos:**

- Se espera una reducción adicional de los costos operativos por mantenimiento, reparación y pérdidas de concreto. Al estandarizar el proceso, se logrará una mejor administración de los recursos y menores costos imprevistos.

#### **2. Aumento en la Productividad:**

- La estandarización de los procesos de mantenimiento garantizará mayor disponibilidad de la flota de mixers y tiempos de ciclo más rápidos, lo que se traducirá en un aumento de la productividad global.

#### **3. Mayor Vida Útil de los Equipos:**

- Al aplicar el mantenimiento preventivo de manera sistemática en toda la flota, se logrará extender la vida útil de las mixers, reduciendo la necesidad de reemplazar equipos y maximizando la rentabilidad de la inversión.

#### **4. Mejora Continua del Proceso:**

- El proceso de mejora continua será implementado a través de la evaluación constante de los resultados obtenidos, lo que permitirá hacer ajustes rápidos y efectivos si es necesario, garantizando que la flota opere siempre con la máxima eficiencia.

### **5.2 Mantenimiento correctivo del desperdicio de concreto en mezcladora mixer**

Respectivamente dentro de las problemáticas identificadas que generan desperdicios y pérdidas de concreto en la planta, se encuentran los continuos chorreos que se producen en las mixers,

especialmente durante los primeros dos metros cúbicos del llenado, dicho derrame es originado a raíz del desgaste del shut o canal de carga, así como por un sellado inadecuado de las uniones, lo que permite que el concreto se filtre, sobre todo cuando este se encuentra mayormente húmedo.

Por ende, esta situación genera pérdidas directas de material, que se traducen en sobrecostos de producción y obligan a realizar labores adicionales de limpieza, consideradas como retrabajos no planificados.

Además, el problema tiene un impacto financiero debido al costo de material desperdiciado y a la necesidad de intervenir los equipos de manera no programada, como se presenta en la siguiente evidencia fotografía que muestran la cantidad de concreto perdido.

**Figura 31** Desperdicios generados durante el cargue del producto



*Nota. Elaborado por el autor*

Por consiguiente, el objetivo de esta intervención es eliminar las pérdidas de material por chorreo durante el proceso de cargue de concreto en las mixer garantizando un flujo controlado, reduciendo el desperdicio y estandarizando una posible solución para toda la flota en planta.

Respectivamente, para llevar a cabo la presente fase del plan de mejora se empleó el ciclo PHVA como herramienta de gestión de mejora.

### 5.2.1 Planear

Se identificaron patrones recurrentes de chorreo de concreto en algunas mixers, especialmente durante los procesos de cargue. Este problema se presentó de forma constante cuando la cantidad de concreto supera los 2 m<sup>3</sup>. A partir de este análisis, se han formulado los siguientes objetivos y acciones de mejora para mitigar esta pérdida de material:

1. Objetivo de Mejora 1: Reducir la pérdida de material mediante el chorreo de concreto durante el proceso de cargue en las mixers.
  - Acciones a Realizar: Instalación de aletas o "shut de cargue" en los canales de carga de las mixers para evitar el derrame de concreto en las zonas de acople desgastadas.
  - Recursos Necesarios: Proveedor seleccionado (Equipos Técni Metálicos S.A.S), lámina de acero HR de 3/16" de espesor, herramientas para corte y soldadura, personal técnico capacitado.
2. Objetivo de Mejora 2: Asegurar la efectividad de la intervención mediante pruebas operativas y medición de los resultados.
  - Acciones a Realizar: Realización de una prueba piloto en una mixer seleccionada para evaluar el desempeño de las aletas instaladas y confirmar la reducción del chorreo de concreto.
  - Recursos Necesarios: Mixer seleccionada para la prueba piloto (placas WMZ788), personal técnico para la instalación y monitoreo de la intervención, equipo de medición de pérdidas de material.
3. Objetivo de Mejora 3: Implementar la solución de manera escalada a todas las mixers de la flota una vez verificada su efectividad.

- Acciones a Realizar: Extender la instalación de las aletas en todas las mixers de la flota de manera planificada, asegurando que todas las unidades reciban la mejora.
- Recursos Necesarios: Recursos financieros para la implementación masiva, logística para coordinar las intervenciones y técnicos para la instalación en cada unidad.

Frente a este inconveniente, se presenta como solución técnica la aplicación de unas aletas en los embudos de la tolva también llamadas hojas de shut de cargue, esta solución hace que el material que se pierde en los primeros metros cúbicos quede contenido y así se evitan derrames. Esta solución se tiende a aplicar en casos en los que las mezclas están excesivamente húmedas para que con esto el flujo de concreto se filtra menos a través de dichas intersecciones en partes desgastadas y selladas de forma errónea por ello, se decide hacer la cotización con Equipo Tecnológico S.A.S (ETM) para definir el costo de la puesta en marcha de las mencionadas aletas en cada mixer e intersección como queda expuesto.

**Figura 32 Cotización realizada en ETM S.A.S**



**EQUIPOS TECNI METALICOS SAS**  
 NIT: 900341778-9  
 DIR: CR 49 # 52 SUR - 209  
 LINEA UNICA: 444 91 78  
 IVA REGIMEN COMUN  
 WWW.ETMSAS.COM

PAG 1/1

C.C. SABANETA

**Observaciones:**

Este presupuesto no incluye valor de repuestos. Por razones técnicas y de apreciación el presupuesto es aproximado, este será modificado con el Vot Bo de la Cta 3ro al cliente.

**TRESCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS CATORCE**

FIRMA ELABORACION

FIRMA ACEPTADO

*Nota. Documento obtenido de los registros archivados por CEMEX*

Mediante la cotización presentada por Equipos Técni Metálicos S.A.S (ETM) se propone la instalación de una lámina de acero HR (acero laminado en caliente) con dimensiones de 3/16 pulgadas x 1200 x 2400 es decir 4,76mm de espesor por 1,2 metros de ancho y 2,4 metros de largo, con un valor total de \$ 357.814 pesos incluida su instalación. Por consiguiente, se selecciona de forma aleatoria una mixer como prueba piloto siendo elegida equipo de placas WMZ788.

### **5.2.2 Hacer**

En esta fase se llevó a cabo la implementación de la solución previamente planeada, priorizando originalmente la solución oportuna del problema de la pérdida de material hallado en la fase de planificación. En primer lugar, se coordinó con el área de mantenimiento y con el proveedor del componente, Equipos Técni Metálicos S.A.S (ETM), con el fin de asegurar la disponibilidad de la lámina de acero HR requerida (de 3/16" de grosor que equivale a 4,76 mm, de 1,2 m ancho por 2,4 m largo) con los recursos y herramientas necesarias para la instalación de la misma.

Con posterioridad, se programó la intervención en la mixer seleccionada como prueba piloto (placas WMZ788), definiendo una ventana de tiempo en la que el equipo estuviese inoperante, para evitar impactos en la producción. La realización del proceso implicó las siguientes acciones.

1. Aislamiento y aseguramiento del equipo: Se realizó la limpieza y verificación de los canales de carga y tolva, eliminando restos de concreto. Se aseguró de no tener humedad ni residuos que pudieran afectar la adherencia y fijación de la lámina.
2. Preparación de la superficie: Se realizó un desbaste y lijado mecánico en las zonas de acople desgastadas para tener el suficiente contacto entre la nueva lámina y la antigua.

**Figura 33 Limpieza y preparación del canal de la mixer**

*Nota. Elaborado por el autor*

3. Ajuste y corte de la lámina: Con herramientas de corte industrial, se dimensionó la lámina HR adecuándola perfectamente a la forma geométrica del canal de carga y se introdujeron las perforaciones necesarias para su fijación.
4. Instalación de las aletas: Se procedió a posicionar la lámina en la zona de desgaste y se aseguró mediante soldadura y refuerzos metálicos, garantizando un sellado continuo que evitara filtraciones.

**Figura 34 Inserción de la lámina de contención 1**

*Nota. Elaborado por el autor*

### **5.2.3 Verificar**

Tras la instalación de la lámina de acero HR en la mixer WMZ788, se procedió a la fase de verificación con el objetivo de evaluar la efectividad de la intervención y confirmar la reducción

del chorreo de concreto durante el cargue. Para ello, se realizaron pruebas operativas bajo condiciones reales de trabajo, controlando el proceso desde el inicio del llenado hasta superar los 2 m<sup>3</sup>, punto a partir del cual previamente se presentaba la mayor pérdida de material.

**Figura 35** Inserción de la lámina de contención 2



*Nota. Elaborado por el autor.*

Durante las pruebas, se observó visualmente el comportamiento del concreto en la zona de acople y los canales de carga. La evidencia fotográfica demuestra que, tras la implementación de la lámina y las aletas de contención, el flujo del material se mantiene contenido, sin escapes significativos por las uniones o zonas de desgaste detectadas en la etapa de planeación.

**Figura 36** Acople de la lámina en el tubo de transferencia



*Nota. Elaboración propia.*

Igualmente, se evidenció una disminución automatizada de la pérdida de material; se determinó en este sentido una reducción del 100 % de los derrames en las condiciones de prueba de esta solución. De replicarse esta condición en el resto de los mixers de la planta, se evitaría una pérdida proyectada superior a 17 millones de pesos anuales para 2025, generando mejoras en la productividad y rentabilidad del procedimiento.

La validación se vio complementada por la verificación física de la instalación de la lámina, confirmando que la lámina está debidamente fijada y sellada y que no se presentan huellas, fisuras o desprendimientos durante la operación de la solución. De acuerdo con estos resultados, la solución se considera técnicamente factible y económicamente viable para su escalamiento en la flota de mixers a disposición de la empresa.

#### 5.2.4 Actuar

Ante el éxito presentado en la implementación de la prueba piloto en la mixer WMZ788 se procedió a realizar una implementación a mayor escala en mixer debidamente seleccionadas por el deterioro que presentaban.

**Tabla 12 Registro de mixers intervenidas**

<b>LAMINAS DEL SHUT DE CARGUE</b>		
Mixer	Intervenida	Fecha de intervención
EQO819	No	
EQO725	Si	16/05/2025
WOX531	Si	22/05/2025
WOX558	Si	15/04/2025
WOX561	No	
EQO788	No	

<b>LAMINAS DEL SHUT DE CARGUE</b>		
WOX563	Si	26/04/2025
WOX541	No	
EQO732	Si	26/06/2025
EQO815	Si	10/06/2025
WOX530	No	
EQO756	No	
WOX543	No	
EQO722	No	
WOX564	No	
WOX551	No	

*Nota. Elaboración propia*

De las 16 mixer presentadas anteriormente señaladas más la intervenida en la prueba piloto se presenta un 45% de las transportadoras fueron debidamente reforzadas en los canales de carga, en relación al desperdicio generado durante el mes de Julio, se presenta lo siguiente.

**Tabla 13 Registro del desperdicio generado después de la intervención**

<b>Desperdicio generado por mixer en julio debido a derrames en el canal de carga</b>		
Mixer	m3	Fecha de intervención
EQO819	0,2	
EQO725	0	16/05/2025
WOX531	0	22/05/2025
WOX558	0	15/04/2025
WOX561	0,13	
EQO788	0,22	
WOX563	0	26/04/2025

<b>Desperdicio generado por mixer en julio debido a derrames en el canal de carga</b>		
WOX541	0,16	
EQO732	0	26/06/2025
EQO815	0	10/06/2025
WOX530	0,15	
EQO756	0,17	
WOX543	0,21	
EQO722	0,18	
WOX564	0,31	
WOX551	0,27	

*Nota. Elaborado mediante los registros obtenidos de CEMEX.*

En el mes de julio aún se evidencia una pérdida total de 2 m<sup>3</sup>, correspondiente al chorreo generado en los canales de carga de las mixers que no se han intervenido. No obstante, se confirma la efectividad de las mixers intervenidas, ya que no presentan pérdidas por este motivo. Al comparar estos valores con los meses anteriores, se observa una mejora significativa tanto en volumen recuperado como en costos.

**Tabla 14 Comparativo de costos generados por el desperdicio**

<b>Mes</b>	<b>m3 de desperdicio por chorreo</b>	<b>Costo m3</b>	<b>Total, costo de perdida</b>
Enero	5	\$442.972,5	\$ 2.214.862,5
Febrero	13,5	\$410.605,4	\$5.543.172,9
Marzo	7,5	\$402.578,1	\$3.019.335,8
Abril	6	\$443.546,9	\$2.661.281,4
Mayo	5	\$417.651,97	\$2.088.259,9

Mes	m3 de desperdicio por chorreo	Costo m3	Total, costo de perdida
Junio	3,25	\$414.184,7	\$1.346.100,3
Julio	2	\$408.847,1	\$817.694,2

*Nota. Elaborado mediante el registro obtenido de CEMEX.*

Como se observa en la tabla anterior, se evidencia una disminución significativa en la pérdida de concreto por chorreo en los canales de carga. En el mes de julio, tras la intervención de seis mixers adicionales más la unidad piloto con la instalación de láminas de acero HR, el desperdicio por chorreo se redujo a 2 m<sup>3</sup>, lo que representa un ahorro considerable frente a los meses anteriores. Comparado con enero, donde se presentaron 5 m<sup>3</sup> de pérdida, la disminución fue del 60%, mientras que frente a febrero, mes con el mayor desperdicio (13,5 m<sup>3</sup>), la reducción alcanzó el 85,2%. En marzo, con 7,5 m<sup>3</sup> de pérdida, la diferencia respecto a julio fue del 73,3%, en abril, con 6 m<sup>3</sup>, la reducción fue del 66,6%, en mayo, con 5 m<sup>3</sup>, también se evidenció un 60% menos de desperdicio, y en junio, con 3,25 m<sup>3</sup>, la disminución fue del 38,4%.

En términos económicos, el costo de pérdida en julio fue de \$817.694,2, cifra sustancialmente inferior a la de los meses previos. Frente a enero la reducción fue del 63,1%, respecto a febrero el ahorro fue del 85,2%, en comparación con marzo la disminución fue del 72,9%, con abril se redujo un 69,2%, con mayo el ahorro fue del 60,8% y frente a junio la disminución alcanzó el 39,3%.

Estos resultados confirman que la intervención técnica generó un impacto positivo inmediato, disminuyendo las pérdidas tanto en volumen como en valor económico. Si bien en julio aún se registraron desperdicios, el nivel alcanzado es el más bajo del periodo evaluado y hasta 6,8 veces menor que el del mes más crítico (febrero).

### 5.3 Chispeo en embudos de transferencia

La causa raíz del chispeo es la falta de una prolongación flexible en el embudo del mezclador, ocasionada por la ausencia de un diseño que contemple este elemento y por la inexistencia de mediciones que permitieran reconocer el chispeo como un problema significativo.

**Figura 37** Chispeo generado en el punto de transferencia



*Nota. Elaboración propia.*

Con base en la causa raíz identificada mediante la metodología de los 5 Porqués y el diagrama de Ishikawa, se procedió a diseñar e instalar una extensión flexible en el embudo del mezclador. Para su fabricación se aprovecharon pedazos de bandas de cuero industrial sobrantes de otros procesos, lo que permitió obtener un material resistente, adaptable a las dimensiones existentes y, al mismo tiempo, eliminar cualquier costo asociado a la adquisición de insumos.

**Figura 38** Extensión aplicada en el embudo

*Nota. Elaboración propia*

La extensión se diseñó de forma que encamine el flujo de concreto directamente hacia el embudo de la mezcladora, reduciendo al mínimo el rebote y la dispersión del material. La instalación se llevó a cabo en todos los equipos involucrados en la transferencia, asegurando un ajuste firme y evitando interferencias mecánicas durante la operación, como se observa a continuación.

**Figura 39 Evidencia de la reducción de chispeo**

*Nota. Elaboración propia.*

Durante el semestre anterior a la implementación, se realizaron inspecciones visuales y registros fotográficos para evaluar el desempeño de la mejora del sistema aplicado. En relación con las condiciones observadas antes de la intervención, se registra que a finales de junio de 2025 se retiró aproximadamente 0,075 m<sup>3</sup> de concreto seco que se acumulaba al final de cada semestre.

Previo a la implementación, este material debía retirarse manualmente, implicando la asignación de personal, el uso de herramientas, consumo de agua y energía, además de la disposición final. Estas labores representaban no solo un costo económico, sino también la interrupción de otras actividades productivas.

Seguidamente, se presentan los diversos conceptos necesarios para la tarea de eliminación de las partículas de concreto generadas por el chispeo, con sus respectivos valores, cantidades y tiempos de uso.

**Tabla 15 Costos de limpieza de eliminación de material generado por el chispeo**

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad/Tiempo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
Mano de obra; 2 operarios que laboran 2 jornadas de 10 horas	20 horas	\$64.000	\$254.500
Herramientas (Martillo eléctrico, desgaste y mantenimiento)	1	80.000	80.000
Servicio de lavado hidráulico	1	90.000	90.000
Energía eléctrica	20 horas	1.041kWh	104.100
Eliminación de residuos	1	100.000	100.000
<b>Total semestre</b>			<b>556.600</b>

*Nota. Elaborado mediante los registros presentados por CEMEX.*

Respectivamente el costo de limpieza durante cada semestre está estimado en aproximadamente 556.600 pesos colombianos, por ende, se evidencia mediante la intervención realizada) que los residuos por chispeo han disminuido en julio del 2025. Con la mejora, todas estas tareas serán posteriormente eliminadas o prolongadas, no por semestre sino de forma anual, generando un ahorro directo en costos operativos y mejorando el uso del tiempo del personal.

#### **5.4 Gestión de escombros**

Ante lo evidenciado en el diagnóstico inicial realizado en el transcurso del primer semestre del año 2025, se evidencia un sobre costo operativo de aproximadamente 19 millones de pesos, destinados a la disposición final o transporte de escombros. Por ende, como medida de mejora se estableció un convenio con Mincivil siendo este uno de los proveedores de grava y arena que permite aprovechar los viajes de retorno de sus camiones para transportar los escombros generados en planta, como se presenta a continuación.

**Figura 40 Salida de escombros a reprocesar**

*Nota. Elaboración propia.*

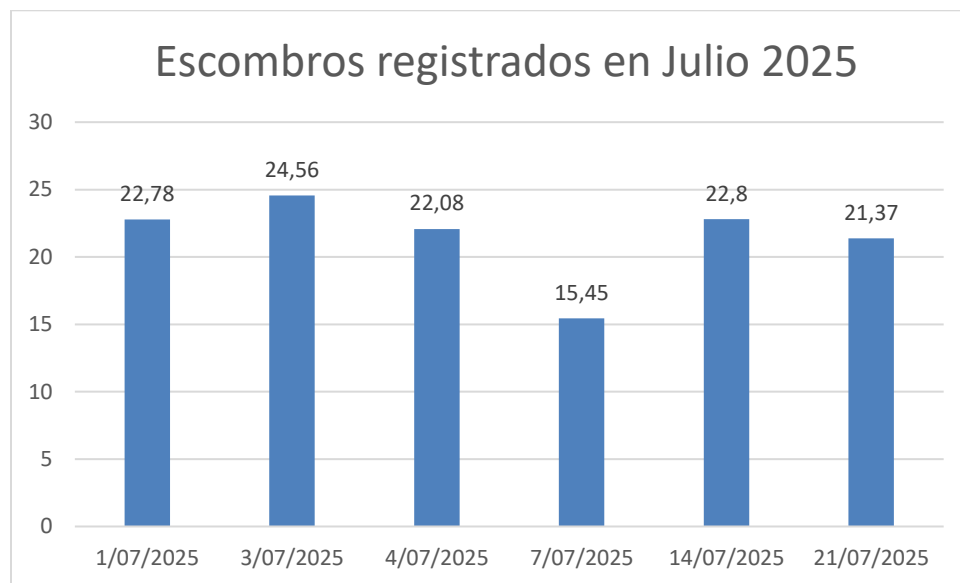
Según la cotización generada por Mincivil, se establece un valor de 27 mil pesos por tonelada reaprovechada de la cual se genera una pérdida del 15% por tonelada que consiste en material no óptimo y residuos por material particulado como lo es polvo y pequeñas partículas que salen del proceso. Respectivamente, del 85 % trabajado, una sexta parte consiste en grava y la cuarta parte restante se entrega como arena, presentándose de la siguiente forma.

$$\text{Total aprovechado} = 1 \text{ tonelada} * 85\% = 0,85 \text{ toneladas}$$

$$\text{Total grava} = 0,85 * 60\% = 0,51 \text{ toneladas}$$

$$\text{Total arena} = 0,85 * 40\% = 0,34 \text{ toneladas}$$

Respectivamente, se aplicó una prueba piloto, en la cual se dispusieron los escombros generados en Julio de 2025, presentados en el siguiente gráfico.

**Figura 41 Registro de escombros generados en julio 2025**

*Nota. Elaborado mediante los registros obtenidos de CEMEX.*

Como se evidencia en la figura anterior, en el mes de julio se registró un incremento en los escombros, alcanzando un total de 129,04 toneladas, por consiguiente, según el valor mencionado por Mincivil el costo total del reaprovechamiento fue de \$3.484.080 pesos, presentándose los siguientes valores aprovechados en metros cúbicos.

$$m^3 \text{ de escombros} = \frac{129,04 \text{ toneladas de escombros}}{2,4 \text{ toneladas/m}^3} = 53,77m^3$$

$$m^3 \text{ de escombros aprovechados} = 53,77 * 85\% = 45,7m^3$$

$$m^3 \text{ de escombros transformada en grava} = 45,7m^3 * 60\% = 27,42m^3$$

$$m^3 \text{ de escombros transformada en arena} = 45,7m^3 * 60\% = 18,28m^3$$

Los valores mencionados anteriormente presentan los volúmenes y la distribución del escombros de concreto tras su aprovechamiento realizado en Mincivil. A partir de 129,04 toneladas iniciales y considerando una densidad promedio de 2,4 t/m<sup>3</sup>, se obtiene un volumen total de 53,77 m<sup>3</sup>. De

este total, asumiendo un 85 % de material aprovechable, se dispondría de 45,7 m<sup>3</sup> para su reutilización. La clasificación del material reciclado indica que aproximadamente 27,42 m<sup>3</sup> correspondió a grava reciclada y 18,28 m<sup>3</sup> a arena reciclada.

$$\begin{aligned} \text{Valor total comercial de la grava aprovechada} &= \$68.000 \text{ pesos/m}^3 * 27,42\text{m}^3 \\ &= \$1.864.560 \text{ pesos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor total comercial de arena aprovechada} &= \$120.000 \text{ pesos/m}^3 * 18,28\text{m}^3 \\ &= \$2.193.600 \text{ pesos} \end{aligned}$$

$$\text{Costo} = \text{Beneficio}$$

$$\$3.484.080 \text{ pesos} = \$4.058.160 \text{ pesos}$$

$$\text{Ganancia total} = \$574.080 \text{ pesos}$$

El análisis de costo–beneficio evidencia que el esquema de reaprovechamiento instalado en la prestadora de servicio Mincivil mejora ostensiblemente respecto al modelo de disposición final de escombros existente anteriormente. Hasta el momento, el proceso de disposición final suponía un gasto directo donde no había retorno por llenado de un espacio de en el vertedero; el nuevo modelo de reaprovechamiento reduce el costo de la gestión y permite a su vez recuperar parte del material en forma de grava y arena comercializable.

Además, el balance del mes de prueba muestra que, una vez descontados los costos operativos de reaprovechamiento, la planta genera un excedente económico positivo, lo que corrobora que la medida no solo es técnica y medioambientalmente viable, sino que también es económica. No disponer finalmente de la totalidad del material supone una disminución de la presión para los gestores ambientales externos, mejora la ocupación del espacio de la planta y mejora la imagen corporativa en cuanto a gestión responsable de residuos.

### 5.5 Gestión de inventario de pigmentos y aditivos

Durante una revisión del inventario, se identificaron diversos pigmentos y aditivos que no han tenido rotación durante años, situación que conlleva una ocupación innecesaria de espacios, así como un riesgo de vencimiento y pérdida de capital invertido. Por consiguiente, este apartado tuvo como objetivo reducir al máximo el inventario obsoleto de pigmentos y aditivos mediante un plan de consumo progresivo y redistribución estratégica hacia otras plantas, garantizando así un uso eficiente de los recursos almacenados.

Por consiguiente, como medida inicial se llevó a cabo un consumo manual de dichos pigmentos, con la finalidad de dar salida a ellos sin generar costos adicionales, por lo que se implementó una estrategia de consumo manual progresivo, la cual consistió en agregar pequeñas cantidades de colorante en algunos viajes o entregas de concreto sin generar inconformidades en el producto, de lo cual se realizó el siguiente registro de salida.

**Tabla 16 Registro de salida del inventario acumulado**

<b>ADICIONANTE, PIGMENTO AMARILLO, Y4021</b>	
<b>FECHA DE CONSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>
18/10/2024	155
18/09/2024	25
<b>COLOR CONCRE., M-4781, 25KG, PQUM. NUBIOLA</b>	
<b>FECHA DE CONSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>
18/10/2024	54
21/10/2024	48
23/10/2024	72
16/10/2024	49,8
21/10/2024	49,8
23/10/2024	83

1/11/2024	99,6
8/11/2024	91,3
9/11/2024	53,1
<b>COLOR CONCRE, BAYFERROX NEGRO 345, SACO 25</b>	
<b>FECHA DE CONSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>
10/12/2024	344
11/12/2024	163
<b>COLOR CONCRE, DIÓXIDO DE TITANIO, SACO 25K</b>	
<b>FECHA DE CONSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>
9/11/2024	8
8/11/2024	10
12/11/2024	85
13/12/2024	7
11/01/2025	40
14/01/2025	24
15/01/2025	36
16/01/2025	40
17/01/2025	40
21/01/2025	16
22/01/2025	24
24/01/2025	24

*Nota. Elaborado mediante los registros obtenidos de CEMEX.*

Mediante el registro presentado anteriormente, se observa una utilidad total de los pigmentos mencionados, se realizó una incorporación total de aproximadamente 1.642 kilogramos de material evitando una pérdida de \$ 26.583.950 pesos. Esto se logró sin afectar la calidad del producto ni incurrir en costos adicionales, dando así manejo a un material que ya se encontraba comprado y sin uso.

Como medida para evitar nuevas acumulaciones de material se llevó a cabo un seguimiento de los aditivos y pigmentos con la finalidad de asegurar un uso eficiente y oportuno, evitando así vencimientos o reprocesos como el realizado anteriormente. Para ello, se solicitó al jefe de planta definir el destino de los materiales identificados en inventario, de manera que se les diera pronta utilización. De esta forma, se establece un enfoque especializado en el cual se prioriza la rotación de productos que lleven más de tres meses en bodega.

A continuación, se presentan los medios de organización implementados para la identificación y uso oportuno de los productos rezagados en el inventario.

**Figura 42 Identificación de los productos represados en el inventario**

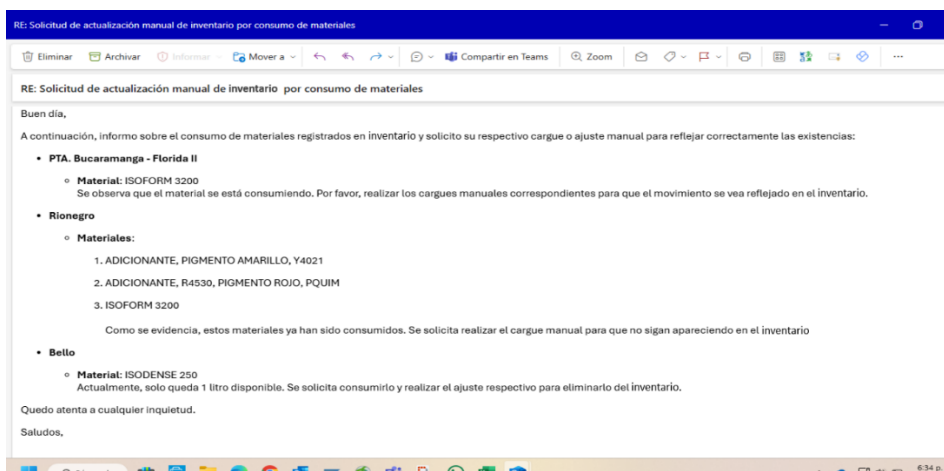
Año	Mes	Giro	Centro	Nom Centro	Material	Nom Material	Nom Cta.mayor	Total Unidades	UM	Total Importe	Tipo Material	Clúster	COMENTARIOS	FECHA de consumo
2025	3	CONCRETO	F011	PLANTA MEDELLIN	10194871	ISOFIBER 2000	INVENTARIO MATERIA PRIMA COMPRADA	51	KG	\$1.219	Aditivos	ANTIOQUIA	Material pendiente por consumo. En revisión para identificar posibles alternativas de reutilización.	En revisión (sin fecha definida)
2025	3	CONCRETO	F011	PLANTA MEDELLIN	10057467	ISOFOAM 520	INVENTARIO MATERIA PRIMA COMPRADA	80	LT	\$418	Aditivos	ANTIOQUIA	Material enviado a planta Puente Aranda para consumo.	Abril. 25

Año	Mes	Giro	Centro	Nom Centro	Material	Nom Material	Nom Cta.mayor	Total Unidades	UM	Total Importe	Tipo Material	Clúster	COMENTARIOS
2025	4	CONCRETO	F011	PLANTA MEDELLIN	10194871	ISOFIBER 2000	INVENTARIO MATERIA PRIMA COMPRADA	51	KG	1218,75	Aditivos	ANTIOQUIA	Se tiene para los concretos especiales/Ventas esporadicas
2025	4	CONCRETO	F011	PLANTA MEDELLIN	10057467	ISOFOAM 520	INVENTARIO MATERIA PRIMA COMPRADA	80	LT	418,48	Aditivos	ANTIOQUIA	Trasladado a Puente Aranda
2025	4	CONCRETO	F011	PLANTA MEDELLIN	10142583	ISOFORM 3200	INVENTARIO MATERIA PRIMA COMPRADA	20	LT	317,4	Aditivos	ANTIOQUIA	Pendiente consumo manuales de 14LT en Mayo.

*Nota. Registros obtenidos de CEMEX.*

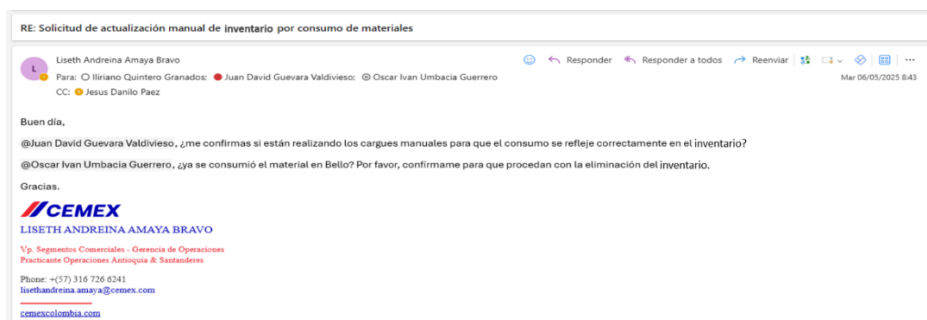
Como se presentó anteriormente, la revisión continua de los diversos materiales se lleva a cabo mediante una estructuración integral en la cual se establece el tipo de producto, la cantidad específica y el valor que este posee. A ello se anexan comentarios en los que se especifica el punto de traslado y las observaciones de la cantidad pendiente por utilizar. Asimismo, este proceso no solo se aplicó en una planta, sino que también se realizó seguimiento en las demás plantas de la empresa, como se muestra en la imagen, empleando diferentes medios empresariales para garantizar que dichos materiales fueran efectivamente utilizados.

**Figura 43** Seguimiento de los inventarios 1



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 44** Seguimiento de los inventarios 2



*Nota. Elaboración propia.*

Por lo tanto, se concluye que las medidas aplicadas de reincorporación, así como de manejo de inventario son exitosas, como se refleja en las cantidades reincorporadas y en el valor de materia prima que no se perdió, Asimismo, se presentan alertas tempranas de inventario que garantizan una utilización oportuna y mitigan la necesidad de realizar acciones de reincorporación.

## **6 Reformulación del plan de mejora escalado a las otras plantas**

### **6.1 Mantenimiento correctivo en mezcladora mixer**

#### **6.1.1 Contexto y problemática general**

En las plantas de concreto Rionegro y Bello, se identificó un problema recurrente de pérdida de material debido a chorreo de concreto en las mezcladoras (mixers) de igual forma que se presenta en la planta La Estrella, especialmente durante el cargue de los primeros metros cúbicos. Este chorreo es causado principalmente por el desgaste del shut o canal de carga y sellados inadecuados en las uniones, lo que permite que el concreto, sobre todo cuando está húmedo, se filtre y se derrame.

Este fenómeno genera pérdidas directas de concreto, sobrecostos en producción y labores adicionales de limpieza (retrabajo no planificado), impactando negativamente la eficiencia y rentabilidad de ambas plantas.

#### **6.1.2 Objetivo general**

Eliminar o reducir significativamente las pérdidas de material por chorreo en las mixers durante el proceso de cargue en las plantas, garantizando un flujo controlado de concreto, minimizando desperdicios y estandarizando una solución técnica replicable para toda la flota de mixers de ambas plantas.

### 6.1.3 Metodología (Ciclo PHVA)

Se aplica el ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar) como marco para la intervención técnica y gestión de mejora continua en ambas plantas.

#### 1. Planear

- **Identificación del problema:** Mediante inspección visual y monitoreo de las mixers en Rionegro y Bello, se confirmó que el chorreo se inicia principalmente al superar los 2 m<sup>3</sup> de concreto en la tolva, asociado al desgaste del canal de carga y puntos de acople deteriorados.
- **Volumen de pérdidas estimado:**
  - Planta Bello: 56 m<sup>3</sup> anuales (estimados) de chorreo.
  - Planta Rionegro: 47 m<sup>3</sup> anuales (estimados) de chorreo.
- **Costo por m<sup>3</sup>:** \$422.000 COP (promedio).
- **Pérdidas económicas anuales aproximadas:**
  - Bello:  $56 \text{ m}^3 \times \$422.000 = \$23.632.000 \text{ COP}$
  - Rionegro:  $47 \text{ m}^3 \times \$422.000 = \$19.834.000 \text{ COP}$
- **Solución técnica propuesta:** Instalación de aletas o láminas de acero HR (3/16" espesor) en los canales de carga para contener el concreto y evitar derrames, incluso con mezclas húmedas que aumentan el riesgo de filtración.
- **Proveedor:** Equipos Téni Metálicos S.A.S (ETM) cotizó la lámina con instalación por \$357.814 COP por mixer.
- **Prueba piloto:** Se seleccionó una mixer para la instalación inicial y evaluación.

**2. Hacer**

- Coordinación con mantenimiento y proveedor para adquisición e instalación de láminas en el mixer piloto.
- Procedimiento de instalación: limpieza, lijado, ajuste, soldadura y aseguramiento del sellado en canales de carga para evitar filtraciones.
- Programación para evitar impacto en producción.

**3. Verificar**

- Pruebas operativas con la mixer intervenida confirmaron la contención total del chorreo en condiciones normales de operación.
- Se estimó reducción del 100% del derrame en la mixer piloto.
- Inspección física corroboró la calidad y durabilidad de la instalación.
- Proyección de ahorro: evitar pérdidas por valor superior a \$17 millones anuales en la mixer.

**4. Actuar**

- Implementación gradual en la flota de mixers con mayor desgaste en ambas plantas.
- Registro del estado de intervención por mixer y monitoreo mensual de pérdidas por chorreo.
- Reportes de mejora muestran que mixers intervenidas no presentan pérdidas por chorreo, mientras que mixers sin intervención mantienen pérdidas.
- La intervención representa una reducción de pérdidas promedio del 60% a 85% en comparación con meses previos sin intervención.

## **6.2 Reducción del chispeo en embudos de transferencia**

### **6.2.1 Contexto y problemática general**

En las plantas de Rionegro y Bello se identifica la misma problemática que se presenta en la planta La Estrella en el cual que se evidencia un problema recurrente de chispeo en el punto de transferencia de concreto entre embudos durante el proceso de cargue en las mezcladoras. Este fenómeno ocurre cuando el concreto, especialmente en condiciones de alta humedad o fluidez, rebota al caer del primer embudo al segundo, generando salpicaduras que se depositan en pisos y paredes, formando montículos de concreto seco con el tiempo.

Estos residuos requieren limpieza semestral, implicando uso de personal, herramientas (martillos eléctricos), consumo de agua y energía, y tiempo de operación para medir y retirar aproximadamente 0,075 m<sup>3</sup> de concreto seco, lo que impacta negativamente la eficiencia operativa y genera costos adicionales.

### **6.2.2 Objetivo general**

Reducir significativamente el chispeo en el punto de transferencia entre embudos en las plantas de Rionegro y Bello, haciendo más eficiente la limpieza del entorno, disminuyendo pérdidas materiales y reduciendo costos operativos asociados a la remoción y mantenimiento.

### **6.2.3 Metodología aplicada**

#### **Análisis de causa raíz**

Se aplicaron herramientas de análisis de causa raíz:

- **Diagrama de Ishikawa**, que identificó tres categorías principales responsables del chispeo:
  - *Materiales*: alta humedad y fluidez del concreto.
  - *Maquinaria*: geometría y altura excesiva entre embudos, falta de guía para el flujo.

- *Métodos:* velocidad de descarga y control deficiente del flujo.
- **Metodología de los 5 Porqués**, concluyendo que la causa raíz es la ausencia de una prolongación flexible en el embudo del mezclador, debido a que el diseño original no contempla este elemento y no existen mediciones que hayan evidenciado previamente el impacto del chispeo.

#### 6.2.4 Solución técnica propuesta

Diseño e instalación de una extensión flexible en el embudo del mezclador para encaminar el flujo de concreto directamente hacia el embudo receptor, minimizando rebotes y salpicaduras.

- **Material:** Bandas de cuero industrial reutilizadas, resistentes, adaptables a la geometría de los embudos y sin costo adicional de adquisición.
- **Instalación:** Ajuste firme que no interfiera con la operación mecánica del equipo.

#### Resultados y beneficios

- Se eliminaron o prolongaron las tareas de limpieza semestral, donde se retiraban aproximadamente 0,075 m<sup>3</sup> de concreto seco por planta.
- Costos operativos asociados antes de la intervención (mano de obra, herramientas, lavado hidráulico, energía, eliminación de residuos) se estimaron en \$556.600 COP por semestre.
- La intervención permitirá evitar estos costos semestrales, con la expectativa de extender la frecuencia de limpieza a una vez al año o más, generando ahorros directos y mejorando la eficiencia en la planta.
- Además, se reduce el riesgo de deterioro por acumulación de residuos y mejora las condiciones de seguridad y limpieza en el entorno de trabajo.

## **6.3 Gestión y revalorización de escombros**

### **6.3.1 Contexto**

Se evidencia que en las plantas de Rionegro y Bello se presenta la misma problemática identificada en la planta La Estrella: generación constante de escombros derivados de pruebas de asentamiento, cilindros fallados, y residuos de lavado de mezcladoras.

Durante el primer semestre de 2025, la planta de Rionegro generó aproximadamente 700 toneladas de escombros, mientras que la planta de Bello produjo alrededor de 550 toneladas.

Estos escombros representan un sobre costo operativo y financiero, ya que su acumulación afecta el orden y el espacio disponible, y la disposición final a través de gestores ambientales autorizados implica costos elevados

### **6.3.2 Objetivo general**

Reducir el volumen y costo asociados a la disposición final de escombros en las plantas mediante la implementación de un sistema de retorno y reaprovechamiento en colaboración con proveedores de agregados, buscando además beneficios económicos y ambientales.

### **6.3.3 Antecedentes**

- La gestión de residuos en ambas plantas se realiza mediante proveedores autorizados que cobran aproximadamente \$27.500 COP por tonelada, incluyendo transporte y manejo.
- El volumen mensual de escombros se mantiene estable, con picos y caídas como se observó en la planta La Estrella, lo que genera un gasto operativo recurrente elevado en transporte y disposición final.
- Durante el primer semestre de 2025, la planta La Estrella registró un sobre costo aproximado de \$19.050.625 COP solo por disposición y transporte.

### 6.3.4 Metodología

Se estableció un convenio con Mincivil, proveedor de grava y arena, para aprovechar los viajes de retorno de sus camiones con la carga de escombros generados en planta, permitiendo así reducir costos y gestionar mejor los recursos.

- **Modelo de reaprovechamiento:**
  - Valor por tonelada reaprovechada: \$27.000 COP
  - Pérdida estimada en proceso: 15% por tonelada (material no óptimo y polvo).
  - Material reaprovechado: 85% del total, dividido en aproximadamente un sexto para grava y cuatro sextos para arena.
  - El análisis costo-beneficio mostró un excedente económico positivo respecto al modelo previo, que implicaba solo gastos sin retorno.

#### **Beneficios Esperados para Plantas**

- **Reducción de costos operativos** por disposición final y transporte, gracias a la utilización eficiente de los viajes de retorno de proveedores.
- **Recuperación de material comercializable** (grava y arena reciclada) que puede ser reutilizado en procesos productivos o vendido, generando ingresos o ahorros.
- **Disminución de la presión sobre gestores ambientales externos** y mejor aprovechamiento del espacio físico en planta.
- **Mejora en la imagen corporativa** por la gestión ambiental responsable y sostenible de residuos.

## **6.4 Mejora de inventario de pigmentos y aditivos**

### **6.4.1 Contexto**

Para garantizar que las acciones implementadas en la mejora de inventarios puedan aplicarse en distintas plantas, se propone un modelo estandarizado que permita prevenir acumulaciones, reducir el riesgo de vencimiento y racionalizar el uso de recursos en cualquier ubicación.

### **6.4.2 Objetivo**

Establecer un modelo de gestión y mejora de inventarios de pigmentos y aditivos que permita prevenir acumulaciones, reducir riesgos de vencimiento y hacer más eficiente el uso de recursos, garantizando su aplicación uniforme en diferentes plantas de producción

### **6.4.3 Metodología**

- Implementar revisiones trimestrales de inventarios de pigmentos y aditivos.
- Identificar productos sin rotación por más de 90 días.
- Clasificar insumos por nivel de riesgo (valor económico, vida útil, rotación histórica).

#### **1. Sistema de consumo progresivo y redistribución**

- Priorizar el uso de productos próximos a vencimiento, integrándolos gradualmente en la producción para evitar variaciones en calidad.
- Establecer un protocolo de traslado de insumos hacia plantas donde haya mayor demanda del producto identificado como excedente.
- Designar responsables de verificar semanalmente que la rotación se cumpla.
- Incluir en el registro: fecha de ingreso, ubicación en bodega, fecha estimada de vencimiento, responsable y observaciones.

## 2. Alertas preventivas

- Configurar notificaciones automáticas cuando un producto alcance los 90 días sin rotación.
- Emitir reportes mensuales a jefaturas para priorizar su consumo o redistribución.

## 3. Capacitación del personal

- Entrenar a los operarios en prácticas de rotación y en el uso de inventario existente antes de solicitar nuevas compras.
- Reforzar la cultura de mejor aprovechamiento de los recursos en toda la cadena de producción.

### **Beneficios esperados en todas las plantas**

- Disminución del inventario obsoleto y liberación de espacio físico.
- Reducción de pérdidas económicas por caducidad o deterioro.
- Mayor trazabilidad y control en la gestión de pigmentos y aditivos.
- Estandarización de prácticas que facilitan auditorías y reportes corporativos.

## 7 Conclusiones

- Esta investigación permito formular una propuesta de mejora en los procedimientos de fabricación de concreto en la planta La Estrella, Antioquia, a partir de los resultados de la investigación de los factores que inciden en la productividad y rentabilidad. A partir de un diagnóstico detallado de los indicadores más relevantes y de la revisión de los procesos operativos, se identificaron distintas áreas críticas que limitaban la productividad de la planta; entre las cuales se identificó la utilización de la capacidad instalada y otros factores que elevaban los costos operativos a la vez que reducían la rentabilidad. El diagnóstico mencionado se constituyó en la base de la propuesta integral de gestión eficiente de los recursos, del mantenimiento preventivo de los equipos e insumos y la gestión de inventarios, lo que permitió aumentar la productividad y la rentabilidad de la planta.
- En la fase del análisis de los factores críticos, se categorizaron problemas que se repetían con los mixers, así como en la gestión de las materias primas, los cuales eran los puntos más críticos a tener en cuenta para llegar a los niveles deseados de producción. Las fallas mecánicas que se producían en los mixers, que, junto con la adecuada gestión de los insumos, así como el manejo de materiales, estaban detrás de las afectaciones a la rentabilidad y de los residuos generados eran los indicadores del resultado de este análisis. En este sentido, la necesidad de un plan de mantenimiento preventivo y de mejorar de la coordinación entre las diferentes áreas para lograr un mejor uso de los recursos.

- A partir del resultado de este análisis, se elaboró una propuesta de mejora encaminada a realizar una reducción de desperdicios, así como a mejorar los procesos de fabricación. En esta propuesta se plantearon reforzar el mantenimiento preventivo de los mixers, la reducción de desperdicios, así como la adecuada utilización de los inventarios. Con estas actuaciones se pretendieron no solamente reducir las pérdidas de materiales, sino también mejorar la eficiencia operativa de las distintas etapas del proceso de producción, desde la carga de los mixers hasta el traspaso final del concreto.
- La implementación de la prueba piloto permitió evaluar la efectividad de la propuesta de mejora, obteniendo resultados preliminares que validaron las intervenciones realizadas. Los ajustes en los procesos operativos, como la mejora en la gestión de inventarios y el mantenimiento preventivo, resultaron en una disminución significativa de los desperdicios y en un aumento de la productividad. Además, la prueba piloto permitió realizar ajustes adicionales que afinaron la propuesta, asegurando que los cambios implementados tuvieran un impacto positivo y sostenible en el desempeño de la planta a largo plazo.

## 8 Recomendaciones

- Los resultados de esta investigación permiten recomendar la mejorar en los tiempos de ciclo, ya que las principales demoras se presentan en obra por retenciones superiores a los 45 minutos estándar. Para mitigar este impacto, se sugiere implementar un sistema de programación dinámica que priorice las obras con mayor riesgo de congestión, complementado con mantenimiento preventivo en planta para evitar paradas imprevistas. Con ello se logrará una mejor sincronización entre producción y transporte, aumentando la productividad y la satisfacción del cliente.
- En materia de mantenimiento, se recomienda consolidar un plan maestro de mantenimiento preventivo que se base en indicadores de confiabilidad como MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo medio de reparación). Este plan debe permitir anticiparse a las fallas más recurrentes, disminuyendo paradas no programadas y aumentando la disponibilidad de los equipos.
- En cuanto a la gestión de inventarios de pigmentos y aditivos, se recomienda aplicar de forma estricta la política FIFO, con el fin de evitar acumulación de materias primas (Pigmentos/Adictivos) y pérdidas por vencimiento. Para ello, se sugiere incorporar un sistema de control en PBI, que facilite la rotación de materias primas y permita auditorías más eficientes, asegurando que el inventario disponible siempre cumpla con los estándares de calidad requeridos.
- Se recomienda fortalecer las competencias de los operarios mediante programas de capacitación en buenas prácticas de producción de concreto, orientados a la reducción de desperdicios. Asimismo, se sugiere conformar círculos de mejora que involucren a

los trabajadores en la identificación de problemas y en la propuesta de soluciones, fomentando una cultura de mejora continua y compromiso con los resultados de la planta.

### Referencias bibliográficas

- Babalola, O., Ibe, E. O., & Ezema, I. C. (2019). Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic. *Building and environment*, 148, 34-43.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/322886976.pdf>
- Cabrera Ruano, J. E. (2022). Análisis técnico de mejoramiento de vías con adoquines de concreto en urbanización Villareal. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/28576>
- Carlos Sánchez, J. L. (2023). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto con el uso de cenizas de cascara de arroz y fibras de palmera.  
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/10674>
- Carrasco Villanueva, S. I., & Ccorahua Espinoza, F. Y. (2021). Mejoramiento en la resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto con agregado grueso reciclado, agregado fino natural y vidrio triturado para viviendas unifamiliares en lima metropolitana.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657843>
- Chapoñan Inoñan, J. J., & Delgado Fernández, E. (2024). Análisis del mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural incorporando cal.  
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13097>
- Chen, Y., Okudan, G. E., & Riley, D. R. (2010). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in construction*, 19(2), 235-244.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580509001551>
- Choque Flores, L. (2021). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto F'C= 210 KG/CM2, agregando grafeno. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5000>

- Crespin Sanchez, C., & Slee del Aguila, M. M. (2021). Mejoramiento de la fluidez y resistencia del concreto simple con la aplicación de Nanosilice, Tarapoto 2021.  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/items/2b69beaf-07e4-4abb-ae8c-57af7c48e145>
- Crespo Luna, B. E. (2022). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de un concreto F'C= 210 kg/cm<sup>2</sup> convencional empleando el agregado fino de granodiorita extraído del cerro Pillco Mozo–Pillco Marca–Huánuco–2021.  
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3340>
- Crosby, P. B. (1979). Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. McGraw-Hill.
- Deming, W. E. (1982). Out of the Crisis. MIT Press.
- Escalante Ríos, F. S. (2021). Mejoramiento de las propiedades del concreto poroso con material colmatado del río Huallaga, adicionando aditivo super plastificante para su uso en las vías urbanas de la ciudad de Huánuco-2019.  
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2951>
- Gutiérrez, J. M. R., & Camargo, C. T. (2021). Aditivos especiales para concreto reforzado: Mejoramiento de las propiedades físicas del concreto por medio de aditivos especializados. JÓVENES EN LA CIENCIA, 12, 1-2.  
<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3265>
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. Currency.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

Ishikawa, K. (1985). What is Total Quality Control? The Japanese Way. Prentice Hall.

Julon Zambrano, N. A., & Marcañaupa Quispe, E. S. Mejoramiento de la resistencia a compresión y flexión de concreto sostenible a elevadas temperaturas, con adición de cenizas puzolánicas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657263>

Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2010). Juran's Quality Handbook (6th ed.). McGraw-Hill.

Lema Zambrano, J. C. (2021). Mejoramiento del comportamiento físico y químico de las arcillas y materiales micáceos presentes en agregados finos de mala calidad para su uso en la producción de concreto hidráulico (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80384>

Londoño Villa, K. D. (2022). Estandarización del proceso de producción de la empresa “Corporación Construcción Solidaria ESAL” para la obtención de bloques de concreto de mayor calidad. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/31663>

Mancera Romero, F. A. (2022). Apoyo en procesos de calidad del concreto planta Guayabetal—Cundinamarca CONCREMACK como practicante empresarial. <https://repositorio.unimeta.edu.co/handle/unimeta/1021>

Nina Apaza, L. C., & Luque Llanos, R. G. (2022). Uso de adoquines de concreto con PET reciclado para mejoramiento de la infraestructura vial urbano en la Avenida Humboldt, tramo: Av. Municipal-Av. Estanislao Cándor, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa-Tacna, 2021. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0798400c-e2ba-4389-b8d0-adb32df57ee4/content>

Pantoja, A., Oliva, L., & Montaña, O. (2022). Mejoramiento del Concreto con PET para la  
Manufactura de Elementos Prefabricados.

<http://repositorio.umariana.edu.co/handle/20.500.14112/28140>

Quispe Benavente, A. L. (2024). Mejoramiento de las propiedades del concreto  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$   
para pavimento rígido incorporando escorias de cobre y fibras de aluminio, Puno-2023.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16574>

Regalado Guevara, E. A. (2024). Mejoramiento del diseño de concreto no estructural con  
incorporación de ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2023.

<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13227>

Santos, S. D. J. A., Sánchez, A. Z., & Roque, A. G. (2021). medición de la productividad en el área  
de proceso de una productora de block de concreto semiautomatizada. innovación  
productiva, 78.

[https://www.utm.mx/avance\\_mir\\_2021/Programa%20104/001%20DESAROLLO\\_PROYECTOS\\_INVESTIGACION/Productos%20de%20investigacion/1%20Inst\\_IIA/Otros/Capitulo%20libro%20Innovacion%20Productiva\\_Cap%2010\\_pp%20142-167.pdf#page=82](https://www.utm.mx/avance_mir_2021/Programa%20104/001%20DESAROLLO_PROYECTOS_INVESTIGACION/Productos%20de%20investigacion/1%20Inst_IIA/Otros/Capitulo%20libro%20Innovacion%20Productiva_Cap%2010_pp%20142-167.pdf#page=82)

Torres, Y. A. R. (2022). Análisis y propuesta de mejora del proceso productivo de fabricación de  
postes de concreto armado, usando herramientas de manufactura esbelta (Master's thesis,  
Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru)).

[https://search.proquest.com/openview/9d633f7e723051b6056f0a3f586e8621/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y&casa\\_token=SGUKMDCkEEoAAAAA:Zilct48ZALVwc2y2EHnLgXptyqkakiA3CL\\_WA9h5AJN44NPvb2RL8Dogk6EW3GBcocqou4HKCArI](https://search.proquest.com/openview/9d633f7e723051b6056f0a3f586e8621/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y&casa_token=SGUKMDCkEEoAAAAA:Zilct48ZALVwc2y2EHnLgXptyqkakiA3CL_WA9h5AJN44NPvb2RL8Dogk6EW3GBcocqou4HKCArI)

- Vasquez Guerra, M. N., & Cardenas Castillo, R. (2022). Aplicación de herramientas de gestión de proyectos para mejorar la productividad del proyecto mejoramiento de la IE N° 0292, Tabalosos-Lamas-San Martin; 2021. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstreams/b55a4c8b-eca2-4a7c-ba36-7ca4fa690144/download>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Simon & Schuster.
- Yin, R. K. (2014). Case Study Research: Design and Methods (5th ed.). SAGE Publications. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FzawIAdilHkC&oi=fnd&pg=PR1&dq=k>

## Apéndices

### Apéndice A. Cumplimiento de objetivos

Objetivo	Descripción	Actividad realizada	Estado	Observaciones
General	Desarrollar una propuesta de mejoramiento de recursos en la fabricación de concreto por medio del análisis y comparación de diferentes factores que influyen en su elaboración, con el fin de mejorar los indicadores de productividad y rentabilidad de la planta la Estrella, Antioquia.	Diagnóstico de la planta, análisis de indicadores, y pruebas piloto para implementar mejoras.	Cumplido	El diagnóstico inicial identificó las áreas críticas que limitan la productividad de la planta. A través del análisis de registros históricos, mediciones directas y la observación del proceso, se lograron identificar variabilidades en la producción y altos niveles de desperdicio. Por lo que se incluye una propuesta dirigida a realizar cambios operativos y mejoras en el mantenimiento preventivo y correctivo de las mixer. Implementándose una prueba piloto que permitió ajustar el plan de mejora según los resultados obtenidos, mostrando una mejora significativa en la reducción de desperdicios y un aumento de la eficiencia operativa.
Específico 1	Diagnosticar el estado actual de la planta	Revisión de registros históricos,	Cumplido	Se realizó un análisis diagnóstico de los indicadores de producción, como el promedio diario de concreto

Objetivo	Descripción	Actividad realizada	Estado	Observaciones
	mediante análisis de indicadores clave y revisión de procesos operativos y administrativos.	mediciones de producción, tiempos de ciclo, y análisis de costos.		producido, tiempos de ciclo, variabilidad de la producción, la segmentación del problema, identificaron ineficiencias como la subutilización de la capacidad de la planta. También se analizaron los costos operativos. Este diagnóstico proporcionó la base para el plan de mejora.
Específico 2	Identificar los factores críticos que afectan la producción, incluyendo el desempeño de los mixers y el manejo de materias primas.	Análisis de fallas mecánicas, tiempos de inactividad y revisión del manejo de materiales.	Cumplido	Durante la fase del diagnóstico, se identificaron varios factores críticos, principalmente relacionados con el desempeño de los mixers y el manejo de materias primas. Se detectaron fallas mecánicas recurrentes en las mixers, que provocaban pérdidas de producto. Además, se identificaron deficiencias en la gestión de inventarios, en el manejo de aditivos y pigmentos, lo que resulta en uso ineficiente de los recursos. Asimismo, la falta de mantenimiento preventivo de las mixers contribuyó al aumento de los costos operativos.
Específico 3	Formular una propuesta para la mejora de los procesos de	Desarrollo de un plan de mejora basado en la	Cumplido	El plan de mejora se centró en la reducción de desperdicios y la mejora de procesos operativos. Se identificaron áreas de mejora en la

Objetivo	Descripción	Actividad realizada	Estado	Observaciones
	fabricación y reducción de los desperdicios.	eliminación de desperdicios, reducción de sobre costos y la eficiencia de los procesos operativos.		carga de los mixers, en los procesos de transferencia y en la gestión de inventarios. Además, se implementó una propuesta de mantenimiento preventivo para las mixers, reduciendo las fallas mecánicas.
Específico 4	Implementar una prueba piloto que permita la obtención de resultados preliminares y el ajuste de la propuesta planteada según las necesidades de la planta.	Ejecución de una prueba piloto para medir la efectividad de las mejoras propuestas.	Cumplido	Se ejecutó una prueba piloto para evaluar la efectividad del plan de mejora. Durante la prueba, se realizaron mantenimientos preventivos en una de las mixers y se mejoró la gestión de inventarios. Los resultados preliminares indicaron una reducción significativa en los desperdicios, especialmente en la carga de concreto y la transferencia en los embudos, lo que contribuyó a mejorar la rentabilidad de la planta.

*Nota. Elaboración propia.*

## **Apéndice B. Evidencias cuantitativas y fotográficas**

Ver apéndice en el documento tipo Excel que se puede visualizar en la biblioteca UIS - [Apendices Libro.xlsx](#)