



**TRABAJO DE GRADO**  
**Seminario Economía Circular**

**Inyección de Finos del Horno al Proceso**

**Industria de la cal viva**

Corporación Universitaria Remington.  
Facultad de Ingenierías  
Ingeniería Industrial

María Fernanda Contreras Peñaloza, Jhon Carlos Rodríguez Barcha, Roberto Vargas  
Lina Villa  
Opción de Trabajo de grado Seminario-Diplomado.  
2025

## **Dedicatoria**

Este trabajo de grado está dedicado a nuestras familias quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y amor nos han acompañado en cada paso de este camino académico. Su aliento constante y confianza en nuestras capacidades nos han motivado a seguir adelante y superar cada desafío.

A nuestros docentes y mentores, por compartir su conocimiento, guía y experiencia, ayudándonos a desarrollar nuestras habilidades y afianzar nuestra pasión por la ingeniería y la sostenibilidad.

A nuestros compañeros de estudio y amigos, con quienes hemos compartido innumerables momentos de aprendizaje, esfuerzo y perseverancia, fortaleciendo no solo nuestro crecimiento académico, sino también el personal.

Finalmente, dedicamos este trabajo a todas aquellas personas y organizaciones comprometidas con la sostenibilidad y la economía circular, que buscan transformar la industria y proteger nuestro planeta para las futuras generaciones.

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

A nuestros asesores académicos y profesores, por su guía invaluable, sus consejos y el tiempo dedicado a nuestra formación. Sus enseñanzas han sido fundamentales en nuestro desarrollo profesional y personal.

A la Corporación Universitaria Remington y a la Facultad de Ingenierías, por brindarnos las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación y proporcionarnos un espacio de crecimiento y aprendizaje.

A la empresa Lhoist Colombia, por permitirnos desarrollar este proyecto en sus instalaciones y proporcionarnos el acceso a los recursos y datos necesarios para su ejecución. Su disposición y apoyo han sido clave para el éxito de este trabajo.

A nuestras familias, por su paciencia, comprensión y motivación constante. Su apoyo incondicional ha sido nuestra mayor fortaleza a lo largo de este proceso.

A nuestros compañeros de estudio y colaboradores en la investigación, por su entusiasmo, trabajo en equipo y compromiso con este proyecto. Su aporte ha sido esencial para la concreción de nuestros objetivos.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de esta investigación y nos impulsaron a dar lo mejor de nosotros mismos.

**Tabla de Contenidos**

Resumen.....	5
Marco conceptual y contextual .....	6
Modelos.....	8
Contexto historico.....	9
Situación actual.....	10
Desarrollo e imlementación del aprendizaje.....	11
Implementacion de la estrategia de inyeccion de finos. ....	11
Resultados y beneficios.....	13
Estrategia de sostenibilidad.....	13
Figura 1 .....	14
Eficiencia de captura.....	15
Aprendizaje tecnico. ....	14
Aprendizaje ambiental .....	16
Aprendizaje economico .....	16
Aprendizaje operacional .....	16
Conclusiones.....	19
Referencias.....	20

## Resumen

En la producción de cal, la generación de finos de caliza representa un problema significativo tanto en términos de costos operativos como de impacto ambiental. La acumulación de estos residuos dificulta su manejo y disposición, generando desperdicio de material aprovechable y aumentando los costos asociados a su eliminación. Ante esta problemática, surge el proyecto de **inyección de finos del horno al producto terminado**, cuyo proceso optimizar este acontecimiento, Para alcanzar este objetivo, se implementó un sistema de dosificación automatizado que permite el control preciso de la cantidad de finos introducidos en el proceso sin afectar la calidad del producto final. La metodología empleada incluyó pruebas piloto en condiciones controladas, evaluación de la granulometría y pureza del material, así como estudios operacionales para determinar el impacto de la inyección de finos en la eficiencia del sistema.

Como parte de los productos entregados, el proyecto incluyó la implementación de un sistema de dosificación automatizado, la optimización del flujo de finos en el proceso, la corrección de condiciones inseguras.

## Palabras clave

**Finos de horno:** Subproducto del proceso de calcinación, compuesto por partículas finas de caliza.

**Filtro de polvo:** equipo utilizado en la separación de material sólido de los gases

**Inyección de finos:** Proceso de reincorporación de estos finos en el producto terminado.

**Sostenibilidad:** Capacidad del proceso para reducir el desperdicio y minimizar su impacto ambiental.

**Economía Circular:** Modelo que busca la reutilización y el reciclaje de materiales en la industria.

## **Marco conceptual y contextual**

En Lhoist Colombia el procesamiento de la cal y la dolomía, desde la extracción hasta la entrega del producto final al cliente, es una operación compleja que consta de una serie de pasos. Cada fase del procesamiento requiere competencias y conocimientos específicos en todas las fases del proceso, Lhoist se centra en la seguridad, la calidad y el medio ambiente, Nos centramos en satisfacer los requisitos individuales de nuestros clientes para la más amplia variedad de aplicaciones. Suministramos productos de cal y minerales a muchos mercados importantes, incluidos el acero, el tratamiento de gases de combustión, las carreteras y las obras civiles, el tratamiento de aguas industriales y municipales, los materiales de construcción, la agricultura y el papel.

a. Trabajamos constantemente para descubrir nuevos usos para nuestros productos y optimizar nuestras prácticas. Como nos anticipamos a las aplicaciones futuras, proporcionamos constantemente a nuestros clientes soluciones innovadoras y de valor añadido.

### **Teorías relevantes:**

**Economía circular:** Modelo económico que busca reutilizar y reciclar materiales para minimizar el desperdicio y promover la sostenibilidad. Reutilización de un desperdicio Desarrollar proyectos de innovación. Propios del proceso para darle valor agregado a un producto que actualmente es vendido a 1200 cop/ton más los gastos operacionales (los finos generados en el horno son 2,3 % de la producción que es igual a 12 ton/día este producto es un desecho que en ocasiones hay que pagar para disponer más el gasto operacional que acarrea para trasladarlo al punto de acopio para darle disposición. Adicional a esto durante el manejo del polvo hay emisiones de material particulado.

Con esto se busca reducir los costos asociados a la generación y disposición de los finos, incrementar la sostenibilidad del proceso (impacto ambiental) se plantea inyectar estos finos al producto terminado mediante un sistema de transporte almacenamiento y dosificación al producto final al dosificar el producto fino (extraído del horno al producto terminado este producto aumentara su valor a 310.000 cop/ton al comparar este valor con 1200 cop/ton al cual es vendido representa una viabilidad económica importante

**Optimización de procesos:** Estrategias y técnicas para mejorar la eficiencia de los procesos industriales y reducir la generación de subproductos no deseados. Dando un paso en la sostenibilidad e innovación

### **Modelos:**

**Modelo de flujo de materiales:** Representación de cómo los finos se integran en el proceso de producción y su impacto en la eficiencia y calidad del producto final.

**Modelo de costos:** Análisis de los costos asociados a la implementación del sistema de dosificación automatizado y la reutilización de finos.

### **Contexto**

La implementación de un sistema de dosificación automatizado mejorará la eficiencia del proceso y reducirá los costos operativos.

La inyección de finos en el producto terminado no afectará negativamente la calidad del producto final.

La reutilización de finos contribuirá a la sostenibilidad ambiental al reducir la cantidad de residuos generado

**Contexto histórico:**

**Desarrollo de tecnologías de producción de cal:** La evolución de los métodos y tecnologías utilizados en la industria de la cal a lo largo del tiempo, incluyendo avances en la gestión de residuos y la eficiencia de los hornos.

**Contexto social:**

**Impacto en la comunidad:** Los efectos de la producción de cal y la gestión de residuos en las comunidades cercanas a las plantas industriales, incluyendo preocupaciones sobre la salud y el bienestar de los residentes.

**Contexto cultural:**

**Percepción de la sostenibilidad:** Actitudes y valores culturales relacionados con la protección del medio ambiente y la sostenibilidad, y cómo estos influyen en la aceptación de nuevas tecnologías y prácticas industriales.

**Contexto económico:**

**Costos operativos y de eliminación:** Análisis de los costos asociados a la gestión de finos, incluyendo transporte, tratamiento y disposición final, así como los beneficios económicos de la reutilización de estos subproductos.

**Situación actual:****Desafíos en la gestión de finos:**

La implementación de soluciones para la inyección de finos del horno al proceso no solo generaría beneficios económicos para las industrias, al reducir costos de eliminación y recuperar recursos valiosos, sino que también contribuiría a la protección del medio ambiente y al desarrollo de una economía más circular y sostenible.

**Situación futura deseada:**

**Implementación de soluciones innovadoras:** Objetivos de reducir la generación de finos, transformar los finos en productos de valor agregado y minimizar el impacto ambiental. Esto incluye la adopción de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles que promuevan la economía circular.

En la industria de la cal, la generación de finos es un problema frecuente que implica pérdidas materiales y costos adicionales. Estos se generan en la línea de proceso convirtiéndose un subproducto de difícil manejo en la recolección y para disposición ;en la recolección se usan filtros de mangas en la separación de partículas sólidas de gases provenientes de un proceso de combustión en la disposición de estos residuos que por sus características tienen un porcentaje de cal porque son provenientes de un proceso de precalcificación Empresas como Lhoist Colombia buscan soluciones para optimizar la gestión de estos subproductos y mejorar la rentabilidad del proceso.

## **Desarrollo e Implementación del Aprendiz**

### **Implementación de la Estrategia de Inyección de Finos**

La inyección de finos es una estrategia clave para optimizar el aprovechamiento de materiales residuales generados en el proceso productivo, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo desperdicios. Para su implementación, se desarrolló un sistema de dosificación automatizado que permite un control preciso de la cantidad de material reincorporado, garantizando una integración eficiente y homogénea en el producto final.

### **Descripción del sistema de inyección de finos**

El sistema de inyección consta de varias etapas que aseguran la correcta manipulación, almacenamiento y dosificación de los finos.

### **Extracción y transporte**

Los finos provienen de los filtros de mangas o colectores de polvo.

Son extraídos mediante un tornillo sin fin, un mecanismo que facilita el transporte del material de manera continua y controlada.

A continuación, se envían a un sistema de transporte por fase inducida por aire comprimido y canales de fluidificación, lo que permite su desplazamiento eficiente hasta la zona de almacenamiento.

### **Almacenamiento y pesaje**

Los finos son depositados en un silo pulmón, cuya función es garantizar un suministro constante y evitar interrupciones en la dosificación.

Desde el silo, el material se transfiere a una tolva de pesaje, donde se pesa con precisión la cantidad a ser incorporada al producto final.

### **Dosificación y reincorporación**

El producto final, en este caso cal viva (óxido de calcio) con una pureza superior al 87%, requiere una dosificación exacta de finos para mantener su calidad y propiedades químicas.

Para ello, se utiliza un tornillo dosificador, cuya velocidad de operación regula la cantidad de material en kilogramos por minuto (kg/min).

Una vez dosificado, el producto es enviado a la línea de empaque para su embalaje, almacenamiento y distribución.

### **Pruebas piloto y validación**

Antes de la implementación definitiva, se realizaron pruebas piloto con el objetivo de evaluar:

Granulometría del material, asegurando una distribución homogénea de partículas.

Pureza química, verificando que los finos no afecten negativamente la composición del producto final.

Impacto en la calidad del producto final, garantizando que la incorporación de finos no altere sus propiedades físicas ni químicas.

Los resultados demostraron que el sistema es eficiente, permitiendo la reincorporación de finos sin comprometer la calidad del óxido de calcio, permitiendo una gestión más eficiente del material residual, optimizando costos de producción y reduciendo desperdicios. La automatización del proceso asegura una dosificación precisa y constante, manteniendo los estándares de calidad del producto final.

## **Resultados y Beneficios**

**Reducción del desperdicio:** Se reincorporaron 12 toneladas diarias de finos que anteriormente se desechaban.

**Incremento del valor del producto:** Se logró incrementar el valor del material de 1.200 COP/ton a 310.000 COP/ton.

**Optimización de costos:** Se redujeron costos operativos asociados a la eliminación de residuos.

**Impacto ambiental positivo:** Disminución en la emisión de material particulado y mejor aprovechamiento de los recursos.

## **Estrategia de Sostenibilidad**

La estrategia de sostenibilidad se basó en los principios de economía circular y optimización de recursos industriales e innovación:

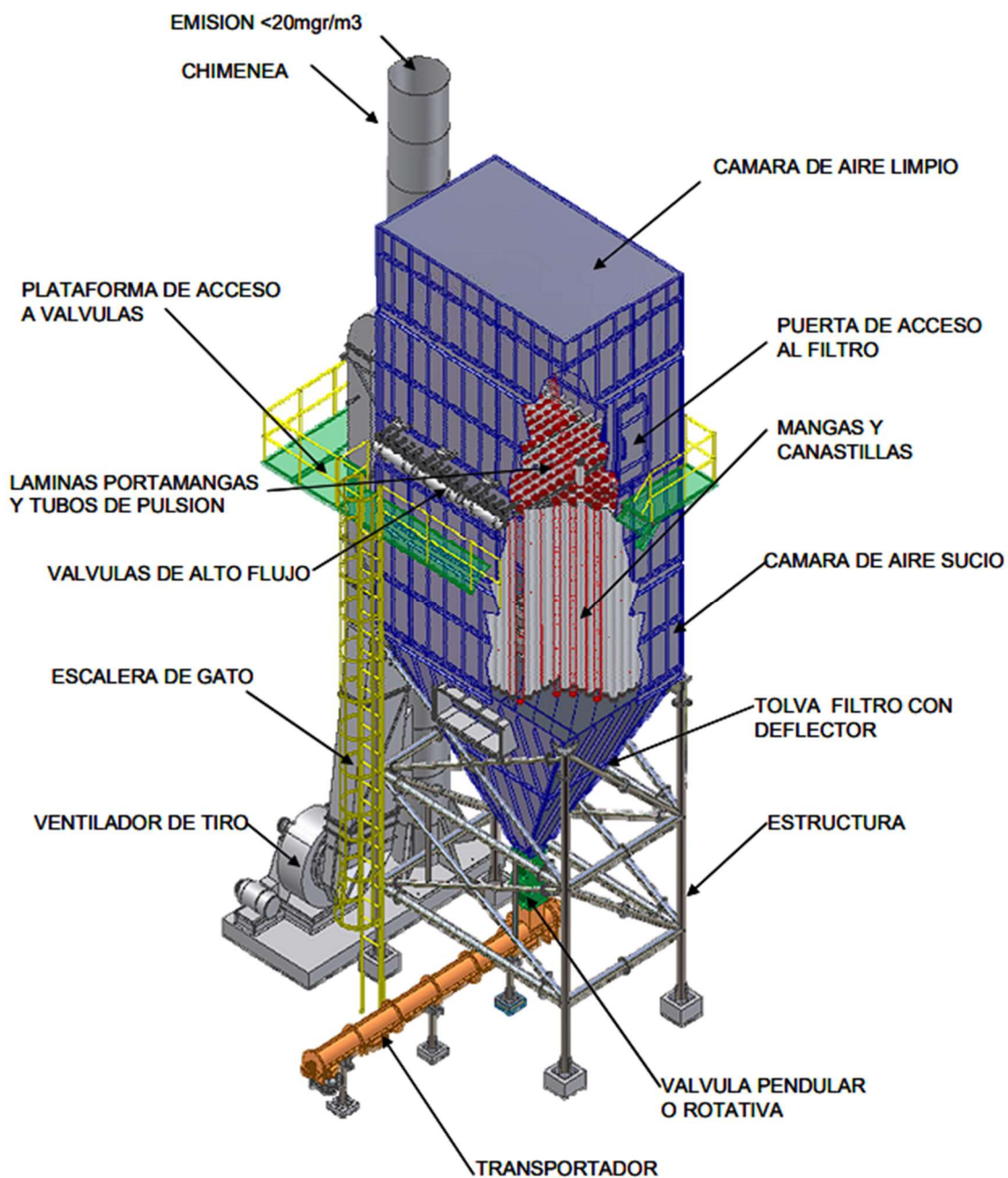
**Reutilización de materiales:** Integración de los finos en el proceso productivo en lugar de su disposición.

**Reducción de emisiones:** Disminución de partículas en el ambiente y optimización de recursos energéticos.

**Automatización del proceso:** Mejora en la eficiencia y reducción del desperdicio.

## Resultados del Proceso de Recolección de Finos de Óxido de Calcio con Filtros de Mangas

Figura 1



**Eficiencia de captura:**

Los filtros de mangas utilizados en la calcinación han demostrado una eficiencia de captura superior al 99% para partículas.

Se ha observado una reducción significativa en la concentración de partículas suspendidas en los gases de escape, cumpliendo

**Reducción de emisiones:** Antes de la implementación de los filtros, las emisiones de polvo eran de aproximadamente 200 mg/m<sup>3</sup>. Después de la filtración, se han reducido a menos de 10 mg/m<sup>3</sup>, cumpliendo con la reglamentación ambiental vigente

**Aprendizaje Técnico**

**Caracterización y optimización:** Ensayos físicos y químicos de la materia prima y el producto final.

**Evaluación de emisiones y subproductos generados:** Pruebas de desempeño bajo diferentes condiciones de operación.

**Aplicaciones industriales:** Medir temperaturas del horno, composición del material de entrada y cantidad de polvo generado.

**Procesos de captura y manejo:** Reducción de emisiones y cumplimiento ambiental. Aprovechamiento de residuos como subproductos útiles, mejorando la eficiencia operativa al minimizar pérdidas de material.

### **Aprendizaje Ambiental**

Reducción de residuos

Sostenibilidad en la industria

Menor impacto ambiental en vertederos y la atmosfera

### **Aprendizaje Económico**

Aprovechamiento de recursos: Se descubre que un material antes considerado residuo puede generar valor económico al incorporarse en otros procesos productivos.

Reducción de costos: Se aprende que reciclar insumos internos disminuye la necesidad de adquirir materia prima adicional.

### **Aprendizaje Operacional y Normativo**

Optimización de procesos bajo legislación ambiental colombiana y su cumplimiento en cuanto a lo Regulatorio, la Implementación de un Sistema de Captación y Reprocesamiento de CaO en una Planta de Calcinación es una solución Eficiente y Sostenible aplicando principios de economía circular

En la industria de la cal, la eficiencia en el uso de los recursos y la mitigación del impacto ambiental son aspectos fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los procesos productivos. La implementación de un sistema de captación y reprocesamiento de CaO en una planta de calcinación representa una solución innovadora que no solo optimiza el aprovechamiento del material, sino que también contribuye significativamente a la reducción de

emisiones y desechos industriales. Con un diseño adecuado, esta tecnología puede generar importantes beneficios operacionales, económicos y, sobre todo, ambientales.

Desde el punto de vista operativo, la captación de los polvos finos de CaO permite recuperar material que de otro modo se perdería en el proceso de calcinación. Este material puede reincorporarse al proceso productivo, mejorando la eficiencia en el uso de la materia prima y reduciendo la necesidad de extracción de nuevas reservas de caliza. Además, la implementación de estos sistemas mejora la calidad del producto final, ya que permite controlar mejor la granulometría y la composición del material calcinado.

Económicamente, la recuperación y reprocesamiento de CaO supone una reducción en los costos de producción. Al disminuir la cantidad de materia prima desperdiciada y optimizar los recursos, se logra una mayor rentabilidad en el proceso industrial. Adicionalmente, las empresas que implementan estas tecnologías pueden beneficiarse de incentivos fiscales y certificaciones ambientales que mejoran su competitividad en el mercado.

Sin embargo, los beneficios más relevantes de esta tecnología enfocada en economía circular son los ambientales. La captación de polvos finos contribuye a la reducción de emisiones de partículas en el aire, lo que mejora la calidad del entorno y minimiza el impacto en la salud de las comunidades cercanas a las plantas de calcinación. Además, al disminuir la necesidad de extracción de caliza, se reduce el deterioro de ecosistemas naturales y la alteración de paisajes geológicos. La disminución de desechos industriales también alivia la carga en los sistemas de disposición de residuos, promoviendo un modelo de economía circular y reduciendo la huella ambiental de la industria.

La implementación de un sistema de captación y reprocesamiento de CaO en una planta de calcinación es una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa, optimizar los costos de producción y, sobre todo, minimizar el impacto ambiental del proceso. Con el diseño y la tecnología adecuados, este enfoque representa un paso fundamental hacia la sostenibilidad de la industria de la cal y un modelo a seguir para otras industrias extractivas y de transformación de materiales.

## Conclusiones

- La implementación del sistema de inyección de finos del horno al proceso demuestra ser una solución viable para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de cal. Los beneficios económicos y ambientales destacan la importancia de adoptar estrategias de reutilización de subproductos en la industria. Se recomienda continuar con el monitoreo del sistema y explorar nuevas aplicaciones de valorización de residuos.
- El aprovechamiento de Materiales de los polvos finos derivados de la calcinación de roca caliza permite recuperar un subproducto valioso que de otro modo se consideraría residuo, contribuyendo a una economía circular en la industria.
- Disminuir la cantidad de polvos finos desechados reduce la contaminación del aire y los riesgos asociados con su disposición inadecuada, como la generación de partículas en suspensión que afectan la calidad del aire y la salud de los colaboradores y las comunidades vecinas a las industrias
- Una optimización de Costos en el proceso productivo o su comercialización para otros usos industriales puede reducir gastos operativos y de materia prima, generando beneficios económicos adicionales. dinamizando la operatividad y versatilidad de la empresa y sus procesos
- La implementación de sistemas de reutilización de subproductos contribuye al cumplimiento de regulaciones ambientales más estrictas, demostrando el compromiso de la empresa con prácticas sostenibles. Adoptar estrategias de valorización impulsa la innovación en los procesos productivos, lo que puede diferenciar a la empresa en el mercado. La capacidad de ofrecer productos o soluciones sostenibles puede atraer a nuevos clientes interesados en prácticas responsables.

## Referencias

Borges, J. L. (2013). Ficciones. Debolsillo.

Libro en línea:

Bastidas, L. R. (2007). El inicio del siglo XXI. Planeta. Recuperado de

<http://www.rbastidasl.com/libro-inicio-del-sigloxxi>

Informe corporativo en línea:

Lhoist. (2024). Informe de sostenibilidad 2024. Recuperado de <https://back.lhoist.com/sites>