

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Planificación y gestión de proyectos en proceso de piedra caliza Acerías Paz del Rio Colombia

Autores

Edna Margarita Rojas Maldonado

María Florenia Zapata Palacios

Edwin Aroldo Zorro Bello

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Abril de 2025

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Planificación y gestión de proyectos en proceso de piedra caliza Acerías Paz del Rio Colombia

Autores

Edna Margarita Rojas Maldonado

María Florenia Zapata Palacios

Edwin Aroldo Zorro Bello

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesora

Ing. Ana Mercedes Fraile Benítez

Mg. Dirección y Administración de Empresas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Abril de 2025

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Dedicatoria

Dedicamos este logro, en primer lugar, a Dios, por regalarnos el don de la vida y la fortaleza necesaria para afrontar y disfrutar cada etapa de esta experiencia académica en la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Rectoría Virtual.

Con profundo agradecimiento, dedicamos también este esfuerzo a nuestros padres, esposos e hijos, por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo. A nuestros compañeros de aula, gracias por su solidaridad, motivación y compañía en este camino de formación.

Y de manera muy especial, a nuestros docentes, quienes caminaron a nuestro lado como guías y mentores, compartiendo su conocimiento y experiencia, y haciendo de este proceso de enseñanza y aprendizaje una experiencia enriquecedora y transformadora.

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la ingeniera Ivonne Tatiana Muñoz Martínez, docente de Investigación I, y a la ingeniera Ana Mercedes Fraile Benítez, docente de Investigación II, por su valiosa orientación, compromiso y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de grado. Su guía y dedicación fueron fundamentales para consolidar las bases metodológicas y estructurales de esta investigación. Extendemos también nuestro agradecimiento a todos los docentes de la Especialización en Gerencia de Proyectos, quienes con su experiencia, entrega y conocimientos contribuyeron significativamente a nuestro proceso de formación académica y profesional.

Agradecemos igualmente a la Corporación Universitaria Minuto de Dios – Rectoría Virtual, por ofrecernos un entorno educativo accesible, inclusivo y de alta calidad, permitiéndonos crecer tanto en lo personal como en lo profesional.

A nuestras familias, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, pilares fundamentales para alcanzar esta meta. Y a nuestros compañeros de especialización, por compartir este camino de aprendizaje, por el compañerismo y la motivación mutua, que enriquecieron cada etapa de este proceso formativo.

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Contenido

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1	Descripción del problema	15
1.2	La pregunta de investigación	16
1.3	Los objetivos de investigación.....	16
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	16
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
1.4	Justificación de la investigación	17
2	MARCO DE REFERENCIA	20
2.1	Marco de Antecedentes.....	20
2.2	Marco Teórico.....	24
2.3	Marco normativo.....	42
3	METODOLOGÍA	45
3.1	Enfoque y alcance de la investigación	48
3.2	Población y muestra.....	51
3.2.1	<i>Definición de la población</i>	51

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

3.3 Instrumentos.....	55
3.3.1 Cuestionario Estructurado.....	56
3.3.2 Observación Directa.....	56
3.3.3 Revisión de Documentos y Registros	57
3.4 Descripción de procedimientos.....	57
3.4.1 Descripción del procedimiento para la observación directa.....	58
3.4.2 Descripción del procedimiento para la revisión documental	62
3.5 Análisis de información	63
3.5.1 Análisis Cuantitativo.....	65
3.5.2 Análisis Cualitativo.....	66
3.5.3 Interpretación de los Resultados.....	66
3.5.4 Informe Final del Análisis.....	67
3.6 Consideraciones éticas.....	67
3.6.1 Análisis de consideraciones éticas	67
3.6.2 Instrumentos de aceptación y autorización	70
4 RESULTADOS.....	71
4.1 Requisitos de cumplimiento del proyecto en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.....	71

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

4.2 Categorías de cumplimiento de recolección en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías

Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá. 74

4.3 Métodos propuestos para apoyar el cumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de

calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá. 78

4.4 Análisis de las consecuencias del incumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de

calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá. 81

CONCLUSIONES 83

RECOMENDACIONES 85

Referencias

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Lista de tablas

Tabla 1 Relación marco normativo	42
Tabla 2 Categorías de cumplimiento de recolección en el proceso de calcinación de piedra caliza	75
Tabla 3 Métodos propuestos para apoyar el cumplimiento de requisitos ambientales	79

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Lista de Figuras

Figura 1 *Artefacto Rueda de Cumplimiento Estratégico para Proyectos de Captación de Material
Particulado en Calcinación de Piedra Caliza* 77

Figura 2 *Mapa de Impacto Multinivel* 82

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Lista de anexos

Anexo A Consentimiento informado para los participantes

Anexo B Autorización para la realización de la investigación

Anexo C Codificación Numérica Lista de chequeo hornos de calcinación

Anexo D Codificación Numérica resultados emisiones de material particulado.....

Anexo E Resultado de la lista de chequeo

Anexo F Resultado de la lista de emisiones.....

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Resumen

Palabras clave: Proyectos, Medio Ambiente Natural, Riesgos.

El proyecto se centra en analizar la planificación y gestión del cumplimiento de los proyectos de captación de material particulado en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río, ubicada en Nobsa, Boyacá. El principal problema identificado es la emisión de partículas contaminantes que afectan la salud de los trabajadores, las comunidades cercanas y el medio ambiente. Ante esto, se planteó como objetivo general evaluar el cumplimiento normativo, operativo y ambiental del proceso, y como objetivos específicos, identificar los requisitos de cumplimiento, clasificar las categorías de recolección, proponer métodos de mejora y analizar las consecuencias del incumplimiento. Como conclusión, se resalta la necesidad de implementar un sistema integral de monitoreo y control de emisiones, apoyado en herramientas de gerencia de proyectos, con el fin de optimizar la eficiencia operativa, reducir los impactos negativos y garantizar la sostenibilidad ambiental y social del proceso industrial.

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

Abstract

Keywords: Palabras clave: Projects, Natural Environment, Risks

The project focuses on analyzing the planning and management of compliance in particulate matter collection projects within the limestone calcination process at Acerías Paz del Río, located in Nobsa, Boyacá. The main issue identified is the emission of pollutant particles that negatively impact workers' health, nearby communities, and the environment. The general objective was to assess regulatory, operational, and environmental compliance, with specific goals including identifying compliance requirements, classifying collection categories, proposing improvement methods, and analyzing the consequences of non-compliance. In conclusion, the study highlights the need to implement an integrated monitoring and emission control system, supported by project management tools, to optimize operational efficiency, reduce negative impacts, and ensure the environmental and social sustainability of the industrial process.

Introducción

La Gerencia de Proyectos juega un papel fundamental en la planificación, gestión y ejecución de iniciativas que buscan mitigar los impactos ambientales de la actividad industrial. En este contexto, la actividad minera y la producción de cal en el municipio de Nobsa-Boyacá ha sido, desde hace años, uno de los recursos más importantes del departamento, participando con el 20 % del PIB (Producto Interno Bruto) de Boyacá. Sin embargo, estas actividades generan impactos significativos en los componentes ambientales de la zona, especialmente debido a las emisiones provenientes de los hornos verticales utilizados en la producción de cal. (Buitrago Jorge, 2003).

Nobsa, ubicado en el centro-oriente de Colombia y parte del Valle de Sogamoso, enfrenta problemas ambientales significativos relacionados con la contaminación atmosférica. Según la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), esta contaminación se ha convertido en uno de los principales desafíos ambientales de la región, afectando tanto la salud humana como el ecosistema. Estudios realizados por CORPOBOYACÁ identifican que el Valle de Sogamoso es el corredor industrial más importante de Boyacá, albergando industrias como cementeras, siderúrgicas, metalmecánicas, ladrilleras y caleras. Empresas como ARGOS, SIDENAL, HOLCIM, HORNASA, BAVARIA, INDUMIL y ACERÍAS PAZ DEL RÍO COLOMBIA, eje central de nuestra investigación, forman parte de este corredor industrial. (CORPOBOYACÁ, 2011).

Desde la perspectiva de la Gerencia de Proyectos, es esencial abordar el problema de la emisión de material particulado en estos procesos industriales a través de estrategias eficientes de gestión y control. El proceso de calcinación opera mediante la descomposición térmica de materia orgánica a altas temperaturas, lo que provoca la descomposición del Carbonato de Calcio en Óxido de Calcio y Dióxido de Carbono. Este proceso genera partículas, gases y vapores en espacios de trabajo y en el medio ambiente que, en muchas ocasiones, exceden los niveles de seguridad permitidos, afectando la salud de los trabajadores y el entorno ecológico.

En este contexto, surge la pregunta central: ¿Cómo se podría minimizar y controlar la emisión de material particulado resultante del proceso de calcinación de la piedra caliza en la empresa Acerías Paz del Río? Dado el impacto potencial de estas emisiones, es imperativo identificar y aplicar estrategias eficaces para reducir la contaminación generada por este tipo de procesos industriales. La Gerencia de Proyectos proporciona un marco estructurado para la planificación, implementación y evaluación de soluciones que permitan mitigar estos efectos adversos y garantizar la sostenibilidad de la actividad industrial en la región. (CORPOBOYACÁ, 2011).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el ámbito de la Gerencia de Proyectos, la gestión eficiente de los procesos industriales es clave para garantizar la sostenibilidad y competitividad de las empresas. Acerías Paz del Río Colombia, una de las principales productoras de acero en Colombia, implementa dentro de su cadena de producción el proceso de calcinación, el cual consiste en la descomposición térmica de materia orgánica a altas temperaturas (Smith & Brown, 2020). Este procedimiento es fundamental para la obtención de cal, un insumo esencial en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la siderurgia y la construcción (Gómez & Rodríguez, 2019). Durante la calcinación, la piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO_3) se somete a temperaturas superiores a $900\text{ }^\circ\text{C}$, lo que provoca su descomposición en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2), generando un impacto ambiental significativo si no se gestionan adecuadamente las emisiones (Martínez et al., 2021).

Uno de los principales desafíos en este proceso es la emisión de material particulado (MP), compuesto por partículas finas en suspensión en el aire, cuya inhalación prolongada puede ocasionar graves afectaciones en la salud humana. Estudios han demostrado que la exposición al material particulado en entornos industriales incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, afectando tanto a los trabajadores como a las comunidades cercanas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022). Además, la dispersión de estas partículas en la atmósfera contribuye al deterioro del medio ambiente, generando contaminación del aire y afectaciones en los ecosistemas locales (Pérez & Ramírez, 2020).

Desde una perspectiva de Gerencia de Proyectos, es crucial la implementación de estrategias de mitigación que minimicen el impacto ambiental y sanitario del material particulado. Entre las soluciones viables se encuentran la adopción de tecnologías de filtración avanzada, la optimización de los procesos térmicos para reducir emisiones y la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan la identificación temprana de desviaciones en los niveles de contaminación (López et al., 2023). De esta manera, la industria siderúrgica puede avanzar hacia una producción más sostenible, alineada con los estándares internacionales de control ambiental y salud ocupacional.

1.2 La pregunta de investigación

Analizar la planificación y gestión del cumplimiento de proyectos de captación de material particulado en el proceso de piedra caliza en la empresa Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa - Boyacá

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar la planificación y gestión del cumplimiento de proyectos de captación de material particulado en el proceso de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa - Boyacá

1.3.2 *Objetivos específicos*

Requisitos de cumplimiento del proyecto en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

Categorías de cumplimiento de recolección en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

Métodos propuestos para apoyar el cumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

Análisis de las consecuencias del incumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Rio Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

1.4 Justificación de la investigación

Conforme al último informe de calidad del aire presentado a CORPOBOYACA y según los parámetros de la Resolución 2254 de 2017 ‘Norma de calidad del aire del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible’, la empresa Acerías paz del rio cumple con los límites aceptables de emisiones atmosféricas, sin embargo, Acerías paz del rio manifiesta el interés de realizar la intervención en su proceso de calcinación de piedra caliza, para la búsqueda de alternativas que puedan reducir la cantidad de material particulado que está impactando negativamente a procesos subsiguientes y deterioro a equipos de manera gradual reflejándose en la corrosión por generación de dióxido de carbono (CaO), disminuyendo la vida útil de los equipos y calidad del aire.

El planteamiento de un sistema de recolección de material particulado permite disminuir el impacto ambiental que se presenta en el área de calcinación, contribuyendo a disminuir.

- Contaminación atmosférica por material particulado.
- Deterioro de la calidad del aire respirable para comunidades humanas que son afectadas por las emisiones de polvo.
- Deterioro de los ecosistemas circundantes a la operación.

(Arciniegas Suárez, 2012) asegura que el sector industrial empleó la innovación y utilización de tecnologías en sistemas para controlar las partículas emitidas al medio ambiente, y el compromiso de las industrias para trabajar en la optimización y mejora continua de sus procesos productivos.

Así mismo, beneficiará en gran medida el bienestar de los operarios y personal involucrado en este proceso, reduciendo el riesgo de inhalación de material particulado, dolencias en la piel y mucosas, disconfort del ambiente, entre otros aspectos relativos a la salud y seguridad en el trabajo, garantizando así el incremento en la productividad. Cabe resaltar que la exposición a las partículas del medio ambiente es un elemento que provoca afectación a la salud del ser humano, a nivel respiratorio, cardiovascular y cáncer; como se citó en (Yuquilema Vilema, 2018) la toxicidad y el impacto inflamatorio de estas partículas permanecen involucrados con su tamaño y propiedades químicas. La exposición a las partículas del medio ambiente es un elemento que provoca afectación a la salud del ser humano, a nivel respiratorio, cardiovascular y cáncer (Ramírez Orellana, 2015).

Por lo anterior, esta investigación es importante porque permite interpretar directamente el problema de Acerías paz del rio, coteja las diferentes técnicas de control de la industria, planteando el diseño de un sistema acorde con sus necesidades, que permita reducir la cantidad de material particulado existente en el área de calcinación. Así contribuirá con el aumento de la eficiencia y capacidad en los procesos, por tanto, que la empresa sea más competitiva en el mercado y generar

un efecto positivo en la salud de los trabajadores, así disminuir el impacto ambiental y social y tener una calidad en el aire para su entorno.

2 MARCO DE REFERENCIA

Para contextualizar y conocer sobre el problema de investigación control de emisión de material particulado en procesos de calcinación, se hace necesario revisar antecedentes investigativos, referentes teóricos y normativos los cuales se amplían a continuación

2.1 Marco de Antecedentes

Martínez y Sánchez (2021) estudia estrategias para mitigar las emisiones de material particulado en la industria siderúrgica, centradas en los procesos productivos de plantas como la de Nobsa y Corrales, en el Departamento de Boyacá, donde opera Acerías Paz del Río. Su propuesta se enmarca en la gestión ambiental contemporánea, entendida como un proceso obligatorio frente a la creciente preocupación mundial por los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud humana y las actividades productivas. En este sentido, el estudio dirige sus esfuerzos hacia el control de partículas fugitivas contaminantes del aire generadas en procesos industriales críticos.

Gómez, Rodríguez y Martínez (2021) analizan la calidad del aire en zonas industriales, centrándose en la concentración de partículas totales en suspensión (TSP) y partículas respirables PM10. Este estudio enfatiza la urgencia de adoptar tecnologías limpias como estrategia para mitigar la contaminación atmosférica, en concordancia con las prioridades ambientales globales. Se destaca la evaluación entre estos parámetros y los impactos en la salud pública, reforzando la necesidad de implementar métodos de producción más seguros y sostenibles.

Astros, et al. (2023) en su trabajo Diagnóstico sobre gestión de emisiones en el Corredor Industrial del Departamento de Boyacá, establece elementos necesarios para identificar la situación

actual del corredor, cuantificar el número de industrias presentes y realizar un análisis comparativo del número de industrias frente al número de Permisos de Emisiones Atmosféricas.

López-García y Hernández-Callejas (2022) examinan el nivel de conocimiento y percepción que tienen los habitantes de zonas urbanas con alta contaminación atmosférica sobre el índice de calidad del aire (ICA). El estudio destaca la necesidad de socializar esta información de manera efectiva, especialmente entre comunidades vulnerables con mayor susceptibilidad a enfermedades respiratorias, con el fin de reducir la exposición a contaminantes como el material particulado y fomentar conductas preventivas en salud pública.

Ramírez y Paredes (2021) desarrollaron un sistema de filtración de polvo orientado a pequeñas industrias agroalimentarias, específicamente para procesos de molienda. Su diseño se centra en ser técnicamente viable, económico y eficaz en la retención de partículas, manteniéndolas por debajo de los límites permisibles durante jornadas laborales extensas. El sistema utilizó filtros tipo manga, permitiendo una reducción significativa en la concentración de material particulado en suspensión, asegurando condiciones seguras para los operarios y el entorno inmediato.

Fernández, Morales y Londoño (2021) realizó un estudio enfocado en la exposición ocupacional a material particulado en trabajadores de la industria cerámica. Utilizaron métodos de muestreo de calidad del aire en el sitio de trabajo, siguiendo los lineamientos del NIOSH, para determinar el grado de exposición y los efectos potenciales en la salud respiratoria. El estudio concluyó que es fundamental implementar sistemas de controles de ingeniería permanentes y efectivos para reducir la concentración de polvo y proteger la salud de los trabajadores.

Wang, et al. (2020), en el documento *Enhancing the collection efficiency of a gas cyclone with atomization and electrostatic charging*, muestra el estudio realizado sobre la composición de

atomización y carga electrostática con el fin de mejorar la recolección de partículas finas en un ciclón tipo gaseoso y su eficiencia.

Salazar y Quintero (2020) realizaron una revisión detallada sobre el comportamiento del material particulado, tanto PM10 como partículas suspendidas totales (TSP), enfocándose en los riesgos que representan para el ambiente y la salud humana. El artículo abarca los métodos de muestreo, los equipos más utilizados para el monitoreo de la calidad del aire, y una descripción de las tecnologías de control disponibles, analizando su aplicabilidad en distintos contextos urbanos e industriales.

González y Ríos (2021) realizó un estudio de monitoreo de material particulado PM10 y PM2.5 en un sector urbano de Bucaramanga, con el propósito de caracterizar la calidad del aire. Los datos obtenidos fueron comparados con la normativa ambiental colombiana vigente, y se analizó la relación entre las concentraciones de material particulado y variables meteorológicas como la temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar. Los resultados permiten establecer patrones de comportamiento del contaminante y proponer estrategias para su control.

Sandoval Meneses, et al. (2021), este artículo Evaluación de la concentración de material particulado (PM2.5) y su relación con enfermedades respiratorias en el municipio de Sogamoso, Boyacá-Colombia. Los autores refieren en su investigación que se hizo necesario el estudio para determinar las concentraciones de material particulado (PM2.5) a partir de los registros del Subsistema de información de la calidad del aire (SISAIRE). Asimismo, según los registros obtenidos y sus datos meteorológicos asociados a su ubicación, y donde establecen una correlación estadística entre las enfermedades respiratorias de Sogamoso y los niveles de inmisión del municipio.

Mendoza y Rincón (2021) presentan una propuesta de optimización del diseño de ciclones utilizados para la remoción de material particulado en la industria. En su estudio, se consideran parámetros clave como la velocidad de saltación, el diámetro del ciclo, la velocidad de entrada del gas y las características del flujo. El diseño se fundamenta en el principio de impacto inercial generado por la fuerza centrífuga, lo que permite una mayor eficiencia en la separación de partículas. Este tipo de equipos sigue siendo uno de los más utilizados por su bajo costo de operación y mantenimiento.

La Organización Mundial de la Salud (2021) actualizó sus guías globales sobre la calidad del aire, subrayando la relación directa entre la exposición a material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en ambientes exteriores y un aumento significativo en las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otras afectaciones a la salud pública. La guía define estándares más estrictos para los contaminantes atmosféricos y proporciona recomendaciones para mitigar la carga global de enfermedad atribuible a la contaminación del aire.

El control de emisiones para minimizar las partículas del proceso de calcinación es una necesidad esencial, respaldada tanto por antecedentes de investigación como por las regulaciones actuales. Investigaciones preliminares han demostrado que las emisiones de partículas de la calcinación se pueden reducir significativamente mediante la implementación de tecnologías avanzadas como filtros de bolsas, precipitadores electrostáticos y sistemas de filtración de aire, que han demostrado su eficacia en muchas industrias diferentes.

Por ejemplo, existen modelos más recientes desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para la evaluación de exposición a partículas, tales como:

- AP-42: Permite la recopilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos, el AP-4, es actualizada periódicamente; la última revisión para polvo fugitivo fue en 2021.

- AERMOD: Modelo reglamentario de dispersión atmosférica de la EPA para contaminantes.
- Modelado de dispersión de la calidad del aire, con herramientas actualizadas como SCREEN3, ISCST3 y CALPUFF.
- Metodologías de estimación de emisiones de polvo fugitivo, las actualizaciones técnicas más recientes en los años 2010 y 2020.

Los diferentes autores consultados también enfatizan la importancia de comprender los factores que influyen en las emisiones, como las características de la materia prima, el tipo de combustible y las condiciones de operación. Este conocimiento nos permitirá contemplar o escoger las estrategias de mitigación más apropiadas respaldadas para lograr formular el proyecto para el control de emisiones de material particulado en hornos verticales para producción de cal de la empresa Paz del Rio Colombia ubicado en el municipio Nobsa – Boyacá.

2.2 Marco Teórico

En la gerencia de proyectos, el marco teórico cumple una función estratégica esencial al proporcionar los fundamentos conceptuales y metodológicos que guían la planificación, ejecución, monitoreo y cierre de los proyectos. Este sustento teórico permite a los gerentes de proyecto tomar decisiones informadas, alinear los objetivos del proyecto con los de la organización y gestionar exitosamente los recursos, los riesgos y los interesados. La gerencia de proyectos, como disciplina integradora, combina conocimientos de gestión, economía, ingeniería y ciencias sociales para liderar iniciativas que generen valor y resultados sostenibles.

Este marco teórico aborda los principales enfoques y teorías que respaldan la gestión efectiva de proyectos, con especial énfasis en herramientas como el Enfoque de Marco Lógico, la Teoría de Sistemas, y metodologías reconocidas como el PMBOK (Project Management Body of Knowledge) y PRÍNCE2. Estos enfoques permiten estructurar los proyectos de manera lógica, basados en objetivos, indicadores y procesos interrelacionados que aseguran la calidad y el cumplimiento de los resultados esperados.

Asimismo, se analizan las ventajas, limitaciones y aplicaciones prácticas de estos modelos en distintos sectores, resaltando su utilidad en la toma de decisiones, la gestión del cambio y la mejora continua. De esta forma, el marco teórico no solo cumple una función académica, sino que se convierte en una herramienta clave para el liderazgo, la dirección estratégica y la optimización del ciclo de vida del proyecto, promoviendo soluciones integrales, eficientes y alineadas con las metas institucionales.

Definición de La Gerencia de Proyectos como Disciplina Integradora

La gerencia de proyectos es una disciplina que articula conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas con el fin de cumplir los objetivos del proyecto dentro de los parámetros de tiempo, costo, calidad y alcance. Esta disciplina actúa como un eje integrador de múltiples campos como la administración, la ingeniería, la economía y las ciencias sociales, posibilitando una visión holística que favorece la toma de decisiones estratégicas en contextos complejos (Project Management Institute [PMI], 2021). En su esencia, busca garantizar que los proyectos se desarrollen con eficiencia y alineación estratégica, generando valor sostenible en las organizaciones (Kerzner, 2022).

Fundamentos Teóricos de la Gerencia de Proyectos

Entre los pilares teóricos que sustentan la gestión de proyectos se destacan la Teoría de Sistemas y la Teoría de Stakeholders. La Teoría de Sistemas, propuesta inicialmente por Ludwig von Bertalanffy, considera el proyecto como un conjunto de elementos interdependientes que deben operar de forma armónica para lograr los objetivos (Martínez & López, 2020). Esta perspectiva permite analizar el proyecto como una unidad dinámica dentro de un entorno cambiante.

Por otro lado, la Teoría de Stakeholders, desarrollada por Freeman, resalta la importancia de gestionar adecuadamente a todas las partes interesadas que pueden influir o verse afectadas por el proyecto. Esto implica identificar sus necesidades, expectativas e intereses, promoviendo la participación y la comunicación continua (García & Ruiz, 2021).

Metodologías y Enfoques de Gestión de Proyectos

La gerencia de proyectos se apoya en metodologías reconocidas internacionalmente que brindan estructuras y buenas prácticas. Entre las más destacadas se encuentran:

- PMBOK (Project Management Body of Knowledge): Establece estándares para la gestión de proyectos a través de áreas de conocimiento como integración, alcance, cronograma, costos, calidad, recursos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e intereses. Su enfoque está orientado a proyectos en contextos tanto privados como públicos (PMI, 2021).
- PRINCE2 (Proyectos EN Entornos Controlados): Esta metodología de origen británica se basa en principios, temas y procesos claramente definidos. Es ampliamente utilizado en el sector público y organizaciones internacionales debido a su enfoque estructurado y adaptable (Axelos, 2023).
- Enfoque de Marco Lógico: Aunque no es una metodología en sí, se ha consolidado como una herramienta clave en la planificación y evaluación de proyectos. Su

utilidad radica en establecer una matriz que articula objetivos, actividades, indicadores y supuestos, lo que facilita el monitoreo y la toma de decisiones (Castro & Mendoza, 2021).

Aplicación Práctica de los Modelos Teóricos

La elección de una metodología depende del tipo de proyecto, su complejidad y los objetivos institucionales. Por ejemplo, en proyectos de desarrollo social o ambiental, el Enfoque de Marco Lógico es eficaz para alinear las actividades con metas de desarrollo sostenible. En cambio, en iniciativas de infraestructura o transformación digital, el PMBOK o PRINCE2 brindan herramientas robustas para la gestión de riesgos, calidad y recursos (Rodríguez & Álvarez, 2022).

Estos enfoques permiten estandarizar procesos, facilitar la comunicación entre los equipos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. No obstante, también presentan limitaciones, como la necesidad de formación especializada o cierta rigidez en contextos muy dinámicos.

Importancia Estratégica del Marco Teórico

El marco teórico en la gerencia de proyectos no se limita a ofrecer un sustento académico; Cumple una función estratégica al orientar la planificación y ejecución del proyecto en base a modelos probados. Este marco permite a los líderes de proyecto anticiparse a riesgos, fomentar la mejora continua, facilitar la comunicación con las partes interesadas y asegurar el cumplimiento de los objetivos institucionales (Miranda & Pérez, 2020).

Enfoque de Marco Lógico (EML)

Representa una herramienta estratégica clave en la gerencia de proyectos, especialmente en contextos donde se requiere una planificación clara, orientada a resultados y basada en la evaluación de indicadores objetivos. Este enfoque permite estructurar un proyecto desde la

identificación del problema hasta la formulación de actividades, productos, resultados e impactos esperados, facilitando así su monitoreo y evaluación (Bester, 2020). Su valor radica en que promueve la coherencia lógica entre los objetivos, los medios y los fines del proyecto, lo cual mejora la toma de decisiones, la asignación eficiente de recursos y la rendición de cuentas ante los diferentes grupos de interés (Gasper, 2019). Además, el Marco Lógico refuerza la visión estratégica del proyecto al permitir alinear sus componentes con las políticas institucionales o los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), favoreciendo la transparencia y la sostenibilidad de las intervenciones (Sánchez & Pérez, 2021). Por tanto, el EML no solo es una herramienta metodológica, sino un soporte estratégico que fortalece la eficacia y la eficiencia de la gestión de proyectos en diferentes sectores.

Teoría de Sistemas

La teoría de sistemas es un enfoque esencial en la gestión de proyectos, ya que permite comprenderlos como elementos interdependientes que interactúan entre sí para alcanzar metas comunes. Desde esta perspectiva, un proyecto no puede gestionarse como una serie de tareas aisladas, sino como un sistema dinámico y abierto que se adapta al entorno y en el que cualquier cambio en un componente afecta al resto del sistema (Kerzner, 2022). Esta visión sistémica promueve una mayor coherencia entre las fases del proyecto, facilita la identificación de riesgos, y mejora la toma de decisiones a partir de una comprensión integral de sus partes (Daft, 2020; Schwalbe, 2021). En contextos complejos y de alta incertidumbre, este enfoque permite una mejor coordinación entre los recursos, los equipos de trabajo y las metas institucionales, garantizando que los resultados del proyecto estén alineados con los objetivos estratégicos de la organización (Miranda & Pérez, 2020).

Análisis Crítico de los Enfoques

En el contexto del proyecto de investigación titulado “*Analizar la planificación y gestión del cumplimiento de proyectos de captación de material particulado en el proceso de piedra caliza en la empresa Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa - Boyacá*”, resulta fundamental evaluar críticamente los enfoques teóricos que pueden orientar la gestión efectiva del proyecto. Dos de los marcos más relevantes en este sentido son la Teoría de Sistemas y el Enfoque del Marco Lógico, los cuales ofrecen ventajas diferenciadas y complementarias. en la estructuración y desarrollo del proyecto.

Teoría de Sistemas: Visión Integral y Coordinada

Desde la gerencia de proyectos, la Teoría de Sistemas permite visualizar la captación de material particulado como equipos de captación, procesos de calcinación, recursos humanos, normativas ambientales y factores externos, que deben operar armónicamente para reducir las emisiones contaminantes. Esta perspectiva sistémica promueve una comprensión holística, en la que cualquier variación en uno de los subsistemas (como fallas técnicas en los equipos o cambios en la normativa ambiental) impacta directamente en los resultados globales del proyecto (Checkland, 2020; Von Bertalanffy, 2021).

Para un gerente de proyectos, esta visión permite anticipar interacciones y efectos colaterales, facilitando la gestión del riesgo, la asignación eficiente de recursos y el diseño de estrategias adaptativas. Además, la potencia la coordinación entre diferentes actores involucrados (ingenieros, operarios, autoridades ambientales), clave para el cumplimiento normativo y los objetivos estratégicos de la empresa (Kerzner, 2022).

Enfoque del Marco Lógico: Planificación Orientada a Resultados

El Enfoque del Marco Lógico, por su parte, se constituye en una herramienta estratégica de planificación, evaluación y monitoreo. Su aplicación en este proyecto permite estructurar

claramente los objetivos, indicadores, medios de verificación y supuestos, facilitando un seguimiento riguroso de los avances hacia la reducción de material particulado (Ortiz & Sánchez, 2020). Esta metodología es especialmente útil en proyectos del sector industrial con implicaciones ambientales, ya que permite establecer metas cuantificables (por ejemplo, reducción del 30% de partículas PM10 en seis meses), y mecanismos de verificación (monitoreos con equipos certificados).

Desde la gerencia de proyectos, este enfoque contribuye a alinear los objetivos operativos con las metas estratégicas de sostenibilidad y responsabilidad ambiental de Acerías Paz del Río, garantizando una ejecución más transparente, medible y coherente con los requisitos legales y sociales (Gómez & Ruiz, 2021).

Complementariedad de enfoques

La verdadera fortaleza de estos enfoques no radica en su aplicación aislada, sino en su complementariedad. Mientras la Teoría de Sistemas ofrece una mirada estructural y dinámica de la empresa como un todo, el Marco Lógico traduce esa complejidad en un plan operativo estructurado y orientado a resultados. Para un gerente de proyectos que lidere una iniciativa de control ambiental, integrar ambos modelos representa una ventaja significativa en términos de gobernanza del proyecto, evaluación de impactos y cumplimiento de estándares técnicos y sociales (PMI, 2021; Rodríguez & Martínez, 2022).

Afectación a la salud

La dosis externa es una medida clave en la evaluación del riesgo ambiental, ya que representa la cantidad de contaminante con la que un receptor entra en contacto por unidad de tiempo y peso corporal, expresada generalmente en miligramos por kilogramo de peso corporal y

día (mg/kg-día). Este concepto, aunque originalmente está asociado a la vía oral, se aplica también a otras rutas de exposición como la inhalación o el contacto dérmico (Esparza & Ruiz, 2021).

Por su parte, la dosis absorbida corresponde a la porción externa que logra penetrar el organismo y alcanzar el torrente sanguíneo, quedando disponible para distribuirse hacia los distintos órganos y tejidos. Esta distinción entre dosis externa y absorbida es esencial en toxicología ambiental y en salud ocupacional, ya que permite identificar con mayor precisión los efectos potenciales sobre la salud humana (González & Pardo, 2020).

En el ámbito laboral, la exposición prolongada a contaminantes atmosféricos como el material particulado (MP10 y MP2.5) puede derivar en enfermedades ocupacionales graves. Estas enfermedades se manifiestan como consecuencia directa del ejercicio de actividades laborales en entornos con alto riesgo ambiental, afectando significativamente la salud y productividad de los trabajadores (Hernández & Vargas, 2023). La identificación y el control de estos riesgos forman parte fundamental de la gestión integral de seguridad y salud en el trabajo.

Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) enfatiza que el enfoque basado en la caracterización de la exposición y la evaluación cuantitativa del riesgo es fundamental para desarrollar políticas efectivas de prevención y mitigación de enfermedades relacionadas con contaminantes ambientales, tanto en contextos laborales como en áreas urbanas afectadas por la contaminación del aire.

Afectación al medio ambiente

Por la actividad industrial desarrollada en las instalaciones de Acerías paz del río en su planta de calcinación, la resolución 909 de junio de 2008 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial determina a la industria como fuente fija de emisiones de contaminantes al aire, y establece los límites permisibles y admisibles, los procedimientos para medir material

particulado; por ende, existe un protocolo para controlar y vigilar los contaminantes que se generan y actualmente métodos de toma y recolección de partículas específicos. a continuación, afectaciones ambientales:

- Calentamiento global: El CO₂ emitido por los hornos verticales para la producción de cal que contribuye al cambio climático, siendo un gas de efecto invernadero clave. Este proceso representa un alto porcentaje de las emisiones globales de CO₂, particularmente en la industria del cemento López et al., (2020).

- Lluvia ácida: La lluvia ácida se forma cuando los óxidos de azufre (SO₂) y de nitrógeno (NO_x), liberados por actividades industriales, reaccionan con la humedad del aire y generan compuestos ácidos que caen a la superficie terrestre. Este fenómeno afecta negativamente cuerpos de agua, suelos y vegetación, alterando el pH y movilizando metales tóxicos como el aluminio (Gómez, Silva & Torres, 2021). Además, empobrece los suelos agrícolas y reduce la salud de los ecosistemas (Paredes & Hernández, 2022).

- Degradación de ecosistemas: Las partículas y gases liberados impactan los ecosistemas cercanos, acidificando suelos y afectando negativamente a la flora y fauna local. Esto, a su vez, puede alterar la biodiversidad y reducir la productividad agrícola en las zonas afectadas Hernández, (2021).

Afectaciones a Materiales y Estructuras

- Corrosión de materiales: Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) siguen siendo una de las principales causas de corrosión en materiales de construcción. Estos gases reaccionan con el vapor de agua en la atmósfera formando ácidos que, al depositarse, aceleran el deterioro de superficies metálicas, mármol, caliza y concreto, especialmente en ambientes urbanos e industriales (González et al., 2021). El efecto

acumulativo genera pérdidas económicas por mantenimiento y restauración de infraestructuras, además del deterioro del patrimonio histórico (Morales & Cifuentes, 2020).

- Acumulación de partículas en superficies: Las partículas de polvo emitidas se acumulan en superficies cercanas a las instalaciones industriales, afectando su apariencia y disminuyendo su vida útil. Gómez, (2020).

Composición y Control del Material Particulado (PM10 y PM2.5)

El material particulado (PM) es una mezcla compleja de sustancias sólidas y líquidas suspendidas en el aire, cuya peligrosidad depende de su tamaño y composición química. Las partículas PM10 incluyen polvo, polen, moho y otras fracciones gruesas, mientras que las PM2.5, más finas, se generan principalmente por procesos de combustión y contienen núcleos de carbono, hidrocarburos y metales pesados (Ramírez et al., 2021). Estos últimos tienen mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio humano, lo que incrementa sus efectos sobre la salud y el ambiente. Por ello, es fundamental realizar mediciones periódicas de estos contaminantes, identificar sus fuentes y evaluar su comportamiento, lo cual permite diseñar estrategias de control más eficaces (Rincón & Vargas, 2022; Guerrero & Díaz, 2023).

Proceso de calcinación

El ciclo de producción del Carbonato de Calcio Precipitado (PCC) inicia con la extracción de la piedra caliza, seguida de las etapas de calcinación e hidratación, fundamentales para transformar el carbonato de calcio natural en cal viva (CaO) y posteriormente en cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Posteriormente, mediante un control de proceso, emitido en la etapa de cal. Posteriormente, mediante un proceso controlado de carbonatación utilizando el CO_2 emitido en la etapa de calcinación, se produce el PCC, altamente valorado por su pureza y control

granulométrico (González et al., 2020). Este material se emplea ampliamente en industrias como papel, farmacéutica, alimentos, plásticos y construcción. El proceso concluye con la clasificación, almacenamiento bajo condiciones controladas para evitar su deterioro por humedad y temperatura, y su posterior empaque (Mendoza & Ríos, 2022).

Métodos de Separación de Partículas en la Industria

La selección de tecnologías para el control de material particulado, en procesos industriales debe basarse en la eficiencia del mecanismo de separación y en el tipo de partículas que se desean capturar. Según investigaciones recientes, estos mecanismos incluyen la sedimentación por gravedad, la impactación centrífuga, la intersección directa, la difusión y la electrostática, cada uno con ventajas y limitaciones dependiendo del contexto de aplicación (Rojas et al., 2021).

Sistemas de sedimentación son adecuados para simplicidad y bajo costo son adecuados para partículas mayores a 50 micras, aprovechando la fuerza de gravedad para su recolección. Por su simplicidad y bajo costo operativo, son útiles en operaciones con altos caudales de aire (Jiménez & Sánchez, 2023).

Separadores ciclónicos, por su parte, funcionan mediante fuerza centrífuga y son eficientes para partículas entre 0,05 y 20 micras, con eficiencias que pueden alcanzar hasta un 90%. Se valoran en la industria por su bajo mantenimiento y estructura robusta (García & Buitrago, 2020).

Colectores húmedos, como los lavadores de gases, emplean distintos mecanismos de separación y son muy efectivos en la captura de partículas finas y gases contaminantes en ambientes donde se requiere un alto grado de limpieza (Ramírez & Vega, 2022).

Los filtros de tela o mangas filtrantes ofrecen eficiencias superiores al 99% y permiten capturar una amplia gama de partículas finas (entre 0,05 y 20 micras), gracias a procesos de inercia,

difusión y filtración directa. Se usan en industrias cementeras, metalúrgicas y químicas (Torres et al., 2021).

Tecnologías para el tratamiento de material particulado

En la industria actual, el control del material particulado (PM) es una prioridad ambiental y de salud ocupacional. Las tecnologías utilizadas para su tratamiento se dividen combinadas en dos grandes grupos: vía seca y vía húmeda, cada una con equipos específicos adaptados a diferentes condiciones operativas.

El tratamiento por vía seca incluye dispositivos como separadores ciclónicos, filtros de mangas o de tela, precipitadores electrostáticos y filtros HEPA o ULPA, los cuales son eficaces para capturar partículas de distintos tamaños. Estos sistemas son ampliamente implementados por su alta eficiencia, especialmente los filtros de tela, que pueden alcanzar una eficiencia de captura de hasta el 99% y son ideales para cargas elevadas de polvo (Cabrera et al., 2022; Torres et al., 2021).

Por su parte, el tratamiento por vía húmeda, representado por lavadores Venturi y torres de aspersión, permite capturar partículas y gases contactando con agua u otros líquidos, efectuándolos en procesos industriales donde se generan partículas finas o compuestos químicos agresivos (Ramírez & Vega, 2022).

En ambas técnicas se suele implementar monitoreo continuo mediante sensores y estaciones automatizadas, lo que permite asegurar el cumplimiento de los estándares ambientales exigidos por la normatividad vigente (García & Buitrago, 2020).

Como producto del desarrollo del proyecto de investigación se espera obtener los siguientes resultados tangibles y verificables:

Matriz de clasificación de cumplimiento por categorías estratégicas

La matriz de clasificación de cumplimiento por categorías estratégicas es una herramienta que permite evaluar de forma organizada el grado de cumplimiento de un proyecto en áreas clave como normativa y medio ambiente, eficiencia operativa y calidad del material. Su propósito es identificar fortalezas y debilidades, facilitando la toma de decisiones estratégicas y el monitoreo continuo del desempeño del proyecto.

Este tipo de matrices estructuran la información en dimensiones medibles, apoyando la mejora continua y el control de riesgos en contextos industriales complejos (Morales, Ramírez & Cruz, 2020).

Cumplimiento Normativo y Ambiental

El cumplimiento normativo y ambiental se refiere a la adhesión de una organización a las leyes, regulaciones, normas técnicas y políticas ambientales que rigen sus actividades productivas. En el contexto de proyectos industriales, como la calcinación de piedra caliza, este cumplimiento es crucial para garantizar que las operaciones no generen impactos negativos significativos en el medio ambiente y que se desarrollen dentro del marco legal establecido por las autoridades competentes.

Además de evitar sanciones legales, el cumplimiento ambiental contribuye a la sostenibilidad organizacional, la eficiencia operativa y la aceptación social del proyecto. Incluye prácticas como el control de emisiones contaminantes, la gestión adecuada de residuos, el uso racional de recursos y la adopción de tecnologías limpias. Su evaluación debe ser constante y debe

estar integrada en los procesos de planificación, ejecución y seguimiento del proyecto (Sánchez & Herrera, 2021).

Eficiencia Operativa y Productividad

La eficiencia operativa y la productividad se refieren a la capacidad de una organización para utilizar de manera óptima sus recursos como es el tiempo, la mano de obra, equipos y materias primas; con el fin de generar productos o servicios de alta calidad con el menor costo y desperdicio posible. Estas variables son claves en el ámbito industrial, ya que determinan la competitividad y sostenibilidad de los procesos productivos. Entre los factores que inciden en la eficiencia operativa se encuentran la automatización, la mejora continua y el monitoreo constante de los indicadores de desempeño. Asimismo, la productividad no solo implica producir más, sino hacerlo con eficacia, calidad y menor impacto ambiental (Gutiérrez & Sánchez, 2021).

Calidad del material

La calidad del material hace referencia al conjunto de propiedades físicas, químicas y mecánicas que debe cumplir una materia prima o producto para satisfacer los requisitos establecidos por normas técnicas, procesos productivos o expectativas del cliente. En el caso de la piedra caliza utilizada en procesos industriales como la calcinación, su calidad se evalúa a través de parámetros como la pureza del carbonato de calcio, la granulometría, la humedad y la presencia de impurezas, ya que estos factores influyen directamente en la eficiencia del proceso y en el cumplimiento ambiental. Un adecuado control de calidad permite mejorar la eficiencia operativa y reducir los riesgos de fallas técnicas o incumplimientos normativos (Ramírez & Paredes, 2022).

Diagnóstico técnico sobre riesgos asociados al incumplimiento

El diagnóstico técnico sobre riesgos asociados al incumplimiento consiste en un análisis sistemático y especializado que permite identificar, evaluar y priorizar los posibles efectos negativos derivados del no cumplimiento de normativas, estándares técnicos o ambientales en procesos industriales. Este tipo de diagnóstico considera variables como fallos operativos, impactos en la salud ocupacional, deterioro ambiental, sanciones legales y pérdida de productividad o competitividad. En el contexto del sector industrial, este análisis es crucial para establecer planes de mejora continua y sistemas de control que aseguren la sostenibilidad del proceso productivo (González & Torres, 2021). Un diagnóstico bien estructurado permite anticipar consecuencias adversas, mitigar riesgos y tomar decisiones basadas en evidencia técnica.

Propuesta de un sistema integrado de monitoreo y control del material particulado

Una propuesta de sistema integrado de monitoreo y control del material particulado implica crear un diseño y la implementación de herramientas tecnológicas, procedimientos y dispositivos automatizados que permitan medir en tiempo real la concentración de partículas en el aire, identificar su origen y aplicar medidas correctivas oportunamente. Este sistema debe incluir sensores ambientales, estaciones de monitoreo continuo, sistemas de captura de datos y software de análisis que faciliten la toma de decisiones y el cumplimiento de normas ambientales. Su implementación mejora la trazabilidad, eficiencia operativa y sostenibilidad en procesos industriales que generan emisiones como la calcinación de piedra caliza (Ramírez & Herrera, 2022). Además, permite prevenir sanciones legales, reducir riesgos para la salud ocupacional y optimizar la gestión ambiental de la empresa.

Diseño de indicadores clave de desempeño (KPIs)

El diseño de indicadores clave de desempeño (KPIs, por sus siglas en inglés) consiste en establecer métricas específicas, medibles y alineadas con los objetivos estratégicos de una organización o proyecto, que permitan evaluar el progreso, la eficiencia y el cumplimiento de metas operativas, ambientales o de calidad. Estos indicadores deben ser claros, relevantes y viables en su medición periódica, para facilitar la toma de decisiones basada en datos reales. En el contexto industrial, los KPIs permiten supervisar el desempeño de procesos críticos, como la gestión del material particulado, y garantizar la mejora continua, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo (Sánchez & Martínez, 2021). Un diseño adecuado de KPIs contribuye a identificar desviaciones, optimizar recursos y elevar la competitividad del proceso productivo.

Informe de recomendaciones para la mejora continua del proceso

Es un documento técnico y estratégico que recoge el análisis detallado del desempeño actual de un sistema o procedimiento, con el fin de proponer acciones correctivas, preventivas y de optimización. Este tipo de informe se basa en diagnósticos, indicadores de desempeño y evaluación de riesgos, y tiene como objetivo cerrar brechas de eficiencia, garantizar el cumplimiento normativo y promover la sostenibilidad operativa. En entornos industriales, como los procesos de calcinación y control de emisiones, estas recomendaciones son fundamentales para ajustar parámetros, modernizar tecnologías, fortalecer el monitoreo ambiental y elevar los estándares de calidad (González & Herrera, 2020). La mejora continua requiere un enfoque

sistemático que involucre a todos los niveles de la organización y esté alineado con los principios de gestión de calidad y excelencia operativa.

Precipitador Electroestático

Un precipitador electroestático es un dispositivo que utiliza un campo eléctrico para capturar partículas suspendidas en gases emitidos durante la calcinación. Al aplicar una carga a las partículas, estas se desplazan hacia placas colectoras cargadas de manera opuesta, donde se adhieren y son luego removidas Pérez & Gómez, (2020). Esta tecnología es efectiva en la captura de partículas finas y ultrafinas, y se utiliza en la industria para reducir las emisiones de partículas antes de liberarlas a la atmósfera.

Filtros de manga

Los filtros de manga son una de las tecnologías más eficientes y utilizadas para el control. son una de las tecnologías más eficientes y utilizadas para el control de material particulado en procesos industriales como la calcinación de piedra caliza. Estos sistemas funcionan mediante la filtración de gases a través de bolsas de tela, en donde las partículas sólidas quedan retenidas, permitiendo que el gas limpio salga al ambiente. Su alta eficiencia de captura, que puede alcanzar hasta el 99%, los hace especialmente útiles en hornos verticales para la producción de cal, donde la generación de partículas finas es significativa (Torres et al., 2021).

Además de su eficacia, los filtros de manga presentan ventajas operativas como la facilidad de mantenimiento, la posibilidad de ser reutilizables con sistemas automáticos de limpieza, y su capacidad de operar en altas temperaturas, lo que los convierte en una solución clave en la gestión

ambiental industrial. (Cabrera et al., 2022). Su implementación ayuda a las empresas a cumplir con la normativa ambiental y reducir el impacto sobre la salud humana y el entorno natural.

Ciclones Separadores

Son dispositivos que emplean la fuerza centrífuga para separar partículas sólidas de los gases. Al entrar en un flujo en espiral dentro del ciclón, las partículas más pesadas son expulsadas hacia las paredes del dispositivo y luego caen hacia la base, mientras que el gas limpio asciende hacia el escape. Este sistema es utilizado en procesos de calcinación para separar partículas de mayor tamaño y reducir la carga de material particulado en emisiones Santos & Ramírez, (2021).

Condiciones de Combustión Controlada

El control riguroso de las condiciones de combustión es esencial para disminuir la generación de material particulado en los hornos verticales utilizados en la producción de cal. Factores como la temperatura de combustión, el tiempo de residencia de los gases, y el suministro de oxígeno debe regularse cuidadosamente para lograr una combustión más completa y eficiente, reduciendo la formación de partículas sólidas y emisiones contaminantes (Jiménez & Castro, 2022).

Estas prácticas no solo optimizan la eficiencia energética del proceso, sino que también contribuyen al diseño de procesos industriales más limpios, con menor impacto ambiental. Implementar estrategias de combustión controlada es especialmente importante en industrias como la de calcinación, donde las emisiones no controladas pueden afectar significativamente la calidad del aire y la salud de los trabajadores (Martínez-Paredes et al., 2021).

Monitoreo y Análisis Continuo de Emisiones

El monitoreo continuo de emisiones es un proceso que permite medir y analizar las partículas emitidas en tiempo real. Utilizando sensores y equipos de medición especializados, se pueden detectar variaciones en los niveles de material particulado, permitiendo ajustes inmediatos en el proceso para controlar las emisiones. Este sistema es crucial para el cumplimiento de regulaciones ambientales y para implementar mejoras en los sistemas de calcinación Rivera & Morales, (2020).

2.3. Marco normativo

La normativa legal colombiana en materia de calidad del aire y emisiones se ha planteado en función de la protección de la salud humana y el medio ambiente, desarrollada a través de un proceso de gradualidad el cual involucra la capacidad técnica, tecnológica y económica de una sociedad, ya que estos factores deben hacer parte de la construcción normativa de carácter técnico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Tabla 1 *Relación marco normativo*

Documento	Nombre y entidad que la expide	Artículo	Impacto en el proyecto
Constitución política de Colombia	Corte Constitucional de Colombia	79	Este artículo dispone que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Y la ley garantiza la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. El Estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación.

Decreto 948 De 1995	Reglamento de protección y control de la calidad del aire. Ministerio del Medio ambiente		El presente Decreto tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire; y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del Desarrollo Sostenible.
Decreto 1072 de 2015	Decreto Único Reglamentario del sector Trabajo Ministerio del trabajo	1,2,8,10	Esta compila todas las normas que reglamentan el trabajo en Colombia. Este Decreto establece las obligaciones y deberes con respecto a la salud y seguridad en el trabajo, determinado para nuestro trabajo las medidas para tener en cuenta en todos los aspectos que se involucra para el acondicionamiento del lugar de trabajo.
Resolución 909 de 2008	Normas y estándares de emisiones admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)	6,72,78	La resolución instauro la reglamentación y estándares de emisiones atmosféricas permisibles en el aire para fuentes fijas, establece los métodos para medir la concentración de contaminantes en fuentes fijas, clasificando características de emisión particulado el tipo de material.
Resolución 2254 de 2017	Norma de calidad del aire ambiente, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	2, 6, 15, 16, 18, 23	Esta norma establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y establece los niveles máximos permisibles, la elaboración de programas para reducción y describe el objeto de los Informes de calidad de aire (ICA) junto con la temporalidad de su realización.
Norma Técnica Colombia 4114	Realización de inspecciones planeadas, ICONTEC.	Ítem 4.1.7	Establece las directrices para la realización de inspecciones planeadas en las instalaciones y/o puestos de trabajo, es una de las herramientas para ser aplicada en el desarrollo de una de las etapas del presente trabajo de investigación.

Nota: la tabla relaciona la normatividad vigente que es aplicable al presente proyecto investigativo

La normatividad colombiana sobre la gestión ambiental de la contaminación del aire por emisiones de partículas provenientes de los hornos verticales para la producción de cal, reflejan esfuerzos importantes para alinear las actividades industriales con los objetivos de desarrollo sostenible y protección del medio ambiente.

Las regulaciones actuales, como la Resolución 909 de 2008, establecen límites de emisión específicos y requieren medidas de control adecuadas para garantizar que las actividades industriales operen eficazmente; pero, al considerar la efectividad de estas regulaciones, su éxito depende de la claridad y rigor de las restricciones impuestas, sino de la capacidad institucional para cumplirlas, monitorearlas y garantizar su cumplimiento.

En muchos casos, la falta de una infraestructura de monitoreo continuo y la aplicación desigual de las sanciones obstaculizan la reducción efectiva de las emisiones, además, las regulaciones deben ir acompañadas de incentivos que promuevan la adopción de tecnologías más limpias, como sistemas avanzados de control de emisiones.

3 METODOLOGÍA

La metodología de la presente investigación se estructura bajo los principios de la gerencia de proyectos modernos, adoptando los lineamientos del Project Management Institute (PMI) y su enfoque de valor entregado a través de resultados tangibles y sostenibles (Guía PMBOK® – Séptima Edición). La investigación se sustenta en un modelo mixto, cualitativo y cuantitativo, para facilitar la comprensión integral del fenómeno observado: el cumplimiento de los requisitos ambientales, normativos, operativos y de calidad en el proceso de calcinación de piedra caliza en la empresa Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá, durante el periodo del segundo semestre del 2024 y el primer semestre del 2025.

Desde la óptica de la gerencia de proyectos, esta metodología garantiza una planificación eficiente, control sistemático, mitigación de riesgos, evaluación de desempeño mediante indicadores clave (KPIs), y la generación de propuestas orientadas a la mejora continua del sistema productivo y ambiental de la organización.

Enfoque y Tipo de Investigación

La investigación se basa en un enfoque mixto, lo cual permite:

- Utilizar técnicas cuantitativas para medir indicadores operativos, niveles de emisiones, eficiencia de los sistemas de captura de material particulado y cumplimiento de la normativa ambiental.
- Aplicar métodos cualitativos para analizar estratégicos, evaluar percepciones de actores internos, identificar riesgos operacionales y desarrollar propuestas de valor.

El tipo de investigación es aplicado, evaluativa, descriptiva y proyectiva, ya que pretende generar prácticas para un problema real en una organización específica, con base en el diagnóstico de su situación actual, el análisis del entorno normativo, y la proyección de estrategias de control, seguimiento y mejora.

Diseño de la Investigación

El diseño no es experimental, transversal y analítico, ya que se observarán y analizarán los procesos tal como ocurren, sin intervención directa en el sistema productivo. La temporalidad abarca el periodo del segundo semestre del 2024 y el primer semestre del 2025, permitiendo establecer tendencias, comportamientos operativos, niveles de cumplimiento y evolución en la gestión ambiental y normativa de la empresa.

Fases Metodológicas

Fase 1: Inicio del Proyecto y Planificación Estratégica

- Identificación del problema: Riesgos de incumplimiento normativo y emisión de material particulado en el proceso de calcinación.
- Determinación de interesados (stakeholders): Alta dirección, ingenieros de producción, supervisores ambientales, operarios, comunidad vecina, autoridades ambientales (CORPOBOYACÁ y MinAmbiente).
- Definición del alcance: Evaluar la gestión del cumplimiento normativo y proponer mejoras integradas en el sistema de monitoreo y control de emisiones.
- Desarrollo del plan del proyecto: Cronograma, recursos, presupuesto, plan de comunicaciones y plan de gestión de riesgos.

Fase 2: Recolección y Análisis de Información

- Revisión documental: Incluye la normativa ambiental (Resolución 909 de 2008, actualizaciones de 2018 y 2021), informes técnicos de la empresa, informes de sostenibilidad, boletines de gestión operativa, informes de mantenimiento de filtros y hornos.
- Encuestas: Con personal operativo y líderes de procesos
- Observación directa: Inspecciones en campo de hornos verticales, puntos de emisión y áreas de recolección de piedra caliza.
- Recolección de datos secundarios: Informes publicados por Acerías Paz del Río (durante el periodo del segundo semestre del 2024 y el primer semestre del 2025), artículos técnicos y bases de datos académicos sobre eficiencia y tecnologías limpias.

Fase 3: Diagnóstico y Análisis de Cumplimiento

- Construcción de la Matriz de Clasificación de Cumplimiento por tres categorías: Normativa y Ambiental, Eficiencia Operativa y Calidad del Material.

Enfoque de Mejora Continua y Sostenibilidad

Toda la metodología está orientada a generar un proceso cíclico de planear, hacer, verificar y actuar (PHVA), donde cada hallazgo se convertirá en una oportunidad para la mejora del sistema de producción y del impacto ambiental, en armonía con la estrategia de sostenibilidad empresarial de Acerías Paz del Río Colombia (Acerías Paz del Río, 2023) y la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

- **Enfoque**

La presente investigación adopta un enfoque aplicado y mixto, con un marco metodológico orientado a la solución de problemas reales dentro del contexto industrial y ambiental de la planta de calcinación de piedra caliza de Acerías Paz del Río, ubicado en Nobsa, Boyacá. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, se estructura bajo los lineamientos del PMBOK® Guide – Séptima Edición, que prioriza la entrega de valor y la adaptación de los proyectos a contextos cambiantes a través de dominios de desempeño como la planificación, entrega, medición del desempeño y mejora continua.

Este enfoque permite integrar conocimientos técnicos, ambientales, operacionales y estratégicos, aplicando herramientas propias de la gerencia de proyectos como la matriz de cumplimiento, el mapa de riesgos, el sistema de monitoreo, los KPIs y el informe de mejora continua. Cada artefacto se articula con los objetivos del proyecto, permitiendo abordar estructuradamente los desafíos asociados al cumplimiento normativo, la eficiencia operativa y la calidad del material en el proceso de calcinación.

Asimismo, el enfoque promueve una visión holística y sistémica, donde los resultados se orientan a generar recomendaciones prácticas, sustentables y alineadas con la estrategia de sostenibilidad empresarial de Acerías Paz del Río, en coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Desde esta óptica, el enfoque metodológico no solo busca validar el grado de cumplimiento en el periodo durante el periodo del segundo semestre del 2024 y el primer semestre del 2025, sino también entregar insumos valiosos para la toma de decisiones informada, la gestión del riesgo, la evaluación de desempeño ambiental-operacional. y la mejora continua del proceso, consolidando la contribución del proyecto al desarrollo sostenible de la organización y la mejora continua del proceso, consolidando la contribución del proyecto al desarrollo sostenible de la organización.

- **Alcance**
 - **Alcance temporal**

El proyecto se desarrollará entre el segundo semestre de 2024 y el primer semestre de 2025, donde se realizará la investigación teniendo en cuenta la información existente en este periodo de tiempo, periodo en el cual se analiza la evolución del cumplimiento normativo y operativo en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río, desde un enfoque de gerencia de proyectos. Este marco temporal permite evaluar mejoras implementadas y proponer acciones para el fortalecimiento futuro del sistema de gestión ambiental y operativa.

- **Alcance espacial:**

El estudio se desarrolla en la planta industrial de Acerías Paz del Río ubicada en el municipio de Nobsa, departamento de Boyacá, Colombia. Este entorno representa un espacio clave para el análisis debido a su relevancia en los procesos de calcinación de piedra caliza y su integración con la producción siderúrgica nacional. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, el enfoque espacial permite evaluar el cumplimiento normativo y operativo dentro de un entorno específico, considerando las condiciones locales, ambientales y logísticas que inciden en la ejecución y control del proyecto.

- **Alcance temático:**

El alcance temático de esta investigación se centra en el análisis de la planificación y gestión del cumplimiento del proyecto relacionado con la captación de material particulado en el proceso de calcinación de piedra caliza en la planta de Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, se abordan temáticas como el cumplimiento normativo y ambiental, la eficiencia operativa, la productividad y la calidad del material, integrando herramientas como la matriz de cumplimiento, el análisis de riesgos, el diseño de indicadores (KPIs), sistemas de monitoreo y propuestas de mejora continua. Estos temas permiten evaluar el ciclo de vida del proyecto, sus restricciones, intereses, calidad, riesgos y sostenibilidad ambiental, todo enmarcado dentro de los principios y dominios establecidos por el PMBOK®.

3.2 Población y muestra

3.2.1 *Definición de la población*

La selección de muestras representativas en poblaciones finitas constituye una estrategia metodológica esencial para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados en estudios de carácter técnico y operativo. En el contexto de gerencia de proyectos industriales, como la captación de material particulado en procesos de calcinación, la población de estudio suele estar compuesta por un número limitado y claramente definido de unidades (como hornos verticales, ciclos de producción o estaciones de monitoreo), lo cual justifica el uso de técnicas de muestreo específicas para poblaciones finitas. Cálculo y selección de la muestra.

Este enfoque permite optimizar recursos y mejorar la precisión de las estimaciones al tomar en cuenta la estructura y tamaño real de la población, minimizando el sesgo y los errores de muestreo. Además, facilitar la toma de decisiones estratégicas basadas en datos representativos del sistema productivo, lo que es clave para la gestión eficiente de proyectos y el cumplimiento normativo ambiental (Lohr, 2021; Ruiz & Escobar, 2021).

En estudios como el de Acerías Paz del Río, esta metodología posibilita diagnósticos técnicos confiables sobre el comportamiento de emisiones, la eficiencia operativa y la calidad del material calcinado, utilizando muestras calculadas según parámetros de confiabilidad estadística y aplicabilidad técnica.

Población Finita

En el contexto del presente proyecto, la población finita está compuesta por un conjunto limitado y determinado de elementos directamente vinculados con el proceso de calcinación de piedra caliza en la planta de Acerías Paz del Río, ubicada en Nobsa, Boyacá. Esta población incluye:

- Hornos verticales utilizados en el proceso de calcinación.
- Estaciones de monitoreo ambiental y de emisiones atmosféricas.
- Equipos de control de material particulado (como filtros de mangas).
- Personal técnico-operativo responsable de la operación y mantenimiento del sistema de calcinación.
- Registros históricos de emisiones y calidad del producto calcinado.

Desde el enfoque de gerencia de proyectos, considerar esta población como finita permite aplicar estrategias de muestreo y análisis focalizados, optimizando la recolección de datos, los

tiempos de ejecución y la asignación de recursos. Esto es especialmente relevante cuando se requiere evaluar el cumplimiento normativo, la eficiencia operativa y la calidad del material con una alta confiabilidad técnica, sin necesidad de evaluar el 100 % del universo operativo.

La definición y delimitación precisa de esta población finita también estructura que permite indicadores clave de desempeño (KPI), construir matrices de cumplimiento y desarrollar diagnósticos técnicos específicos para cada categoría estratégica del proyecto. Así, se fortalece la planificación, control y seguimiento del proyecto bajo estándares de calidad y sostenibilidad, como lo recomienda el enfoque PMBOK (PMI, 2021).

Cálculo y selección de la muestra

- **Contexto del proyecto**

Este proyecto tiene como objetivo principal confirmar los requisitos de cumplimiento del proceso de calcinación de piedra caliza en la planta de Acerías Paz del Río, ubicada en Nobsa – Boyacá. En este entorno industrial, la operación se realiza mediante dos hornos verticales monitoreados por 4 técnicos y 7 operadores, quienes representan la totalidad de la población sujeta a un análisis.

- **Naturaleza de la población**

La población del estudio está conformada por un número finito y reducido de actores clave del proceso, lo que se define como una población finita. En términos metodológicos, se considera finita aquella población en la cual todos los elementos pueden ser identificados y contabilizados (Hernández et al., 2021). En este caso:

- Tamaño de la población (N): 4 técnicos y 7 operadores de calcinación activos.
- Unidades de observación: Operadores y técnicos que supervisan, controlan y registran datos del proceso de calcinación.

- **Tipo de muestreo**

Dado el tamaño reducido de la población, la naturaleza del entorno industrial y las restricciones operativas se opta por un muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta técnica es adecuada cuando se trabaja con muestras accesibles, disponibles y que ofrecen información útil para investigaciones exploratorias o estudios aplicados, como es común en el contexto de proyectos de mejora operativa (Tamayo y Tamayo, 2019).

- **Justificación de selección**

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, el muestreo no probabilístico por conveniencia responde a varios criterios estratégicos y metodológicos:

1. Restricciones operativas y logísticas: No todos los hornos están activos simultáneamente y el acceso a los operadores depende de turnos, mantenimientos y cargas laborales.
2. Enfoque exploratorio aplicado: El estudio busca recopilar información directa sobre las condiciones actuales del proceso para proponer mejoras prácticas y realistas. El

estudio busca recopilar información directa sobre las condiciones actuales del proceso para proponer mejoras prácticas y realistas.

3. Eficiencia en recursos y tiempo: Fundamental en entornos industriales donde el tiempo de inactividad o intervención puede tener costos elevados.

4. Información significativa: A pesar de no generalizar estadísticamente, los datos obtenidos de los operadores activos permiten generar diagnósticos valiosos y formular recomendaciones ajustadas al contexto. A pesar de no generalizar estadísticamente, los datos obtenidos de los operadores activos permiten generar diagnósticos valiosos y formular recomendaciones ajustadas al contexto.

- **Tamaño de muestra**

Debido al tamaño reducido (11 personas) y la necesidad de no afectar la operación continua de la planta, se plantea trabajar con una muestra mínima de 6 a 8 personas, equivalente al 55% al 73% de la población. Esta cobertura es aceptable para investigaciones exploratorias de campo y permite obtener información de al menos un operador por cada horno activo.

3.3 Instrumentos

Para la investigación, se seleccionaron instrumentos de recolección de datos que permiten información detallada y precisa sobre las prácticas operativas y las percepciones del personal involucrado. Estos instrumentos incluyen un cuestionario estructurado, una lista de chequeo para la observación directa de los procesos operativos, y la revisión de documentos técnicos relacionados con las emisiones y normativas vigentes.

Cada instrumento se diseñó para garantizar la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, fundamentales para analizar y formular propuestas de mejora.

En esta sección se describen detalladamente los instrumentos utilizados, su propósito y la forma en que se aplicaron durante la investigación.

3.3.1 Cuestionario Estructurado

Se diseñó un cuestionario que incluye preguntas cerradas (opciones de respuesta específicas) y abiertas (respuestas más elaboradas) para recopilar información de los operadores y técnicos se encuentran en cada una de las secciones de hornos verticales para la producción de cal, cuyo objetivo son los siguientes:

- Evaluar el conocimiento y la percepción de los empleados sobre las emisiones de material particulado.
- Identificar prácticas actuales de operación y mantenimiento en los hornos.

3.3.2 Observación Directa

Mediante la observación directa en los procesos de operación de los hornos verticales para la producción de cal y el manejo de material, se tomará nota sobre prácticas, condiciones de trabajo y cualquier indicio de emisión de material particulado que se esté presentando en las dos secciones de hornos verticales para la producción de cal de la empresa, esta se hará mediante lista de chequeo y sus objetivos son:

- Identificar condiciones operativas que puedan contribuir a las emisiones.
- Evaluar el cumplimiento de las prácticas de mantenimiento y seguridad.

Revisión de Documentos y Registros

Para la investigación se analizarán los informes de emisiones, manuales de operación y políticas ambientales de la empresa; los objetivos para la aplicación de este instrumento son:

- Recopilar datos históricos sobre emisiones y cambios en la operación.
- Identificar medidas de control de emisiones ya implementadas y su efectividad.

3.4 Descripción de procedimientos

A continuación, se presenta una descripción detallada de los procedimientos diseñados para la recolección de información en el proyecto de Control de Emisión de Material Particulado en Procesos de Calcinación. Estos procedimientos establecen un marco sistemático para la aplicación de los instrumentos de recolección de datos, garantizando la eficiencia, precisión y confiabilidad del proceso.

La definición detallada de cada procedimiento de recolección de datos incluyendo el tiempo de aplicación, lugar, responsables capacitados, autorizaciones institucionales y protocolos técnicos, es fundamental para asegurar la validez y representatividad de la información obtenida. Esta planificación meticulosa permite reflejar con precisión la situación actual de los procesos industriales y facilitar la toma de decisiones fundamentadas, especialmente en contextos como la industria siderúrgica, donde las condiciones operativas y normativas son críticas. En línea con

este enfoque, Creswell (2023) destacan que un diseño metodológico bien estructurado mejora la calidad del análisis, mientras que Saunders, Lewis y Thornhill (2019) afirman que la claridad en los procedimientos refuerza la confiabilidad y utilidad de los datos. Así mismo, Saldaña y Omasta (2022) subrayan la necesidad de establecer protocolos éticos y operativos claros para asegurar la interpretación válida de la información, y Gray (2020) sostiene que estas prácticas permiten generar conocimiento útil para la gestión efectiva de proyectos en entornos reales.

A continuación, se describe cada instrumento en detalle, su propósito y cómo se aplicarán durante el desarrollo de la investigación.

3.4.1 Descripción del procedimiento para la observación directa

En el proyecto de investigación hay un segundo instrumento para utilizarlo en observación directa y para ello se elaboró una lista de chequeo fundamental para evaluar sistemáticamente las condiciones operativas, prácticas de manejo de materiales y posibles fuentes de emisión de material particulado. Este procedimiento permitirá recolectar datos cualitativos y cuantitativos que complementen otros métodos de recolección de información como el cuestionario.

La observación directa y el uso de listas de chequeo continúan siendo herramientas esenciales en investigaciones aplicadas, especialmente en contextos industriales donde se requiere verificar el cumplimiento de procedimientos técnicos. Según Creswell y Creswell (2023), estos instrumentos permiten recolectar datos sistemáticos sobre comportamientos,

condiciones o procesos sin alterar el entorno. Asimismo, Roulston y Shelton (2021) destacan que las listas de chequeo aportan estructura y consistencia a la observación, facilitando el análisis y la comparación de datos. En esta investigación, se adopta esta metodología para registrar, de forma objetiva, aspectos operativos clave del proceso de calcinación y cumplimiento ambiental en Acerías Paz del Río Colombia. A continuación, se describe el procedimiento para la aplicación de la lista de chequeo:

- **Procedimiento: Observación Directa en Hornos de Calcinación**

- **Objetivo del procedimiento**

Realizar un levantamiento sistemático y objetivo de información técnica y ambiental mediante observación directa en campo, con el fin de evaluar las condiciones operativas de los hornos de calcinación y su relación con las emisiones de material particulado. Esta herramienta apoya el diagnóstico situacional del proyecto y la validación de resultados obtenidos por otros medios (encuestas, entrevistas o registros operativos).

- **Responsabilidad**

Los Gerentes del Proyecto serán los encargados de planificar las visitas de observación, seleccionar al personal calificado que realizará la inspección y consolidar la información para su posterior análisis.

El observador designado deberá aplicar el instrumento de manera objetiva, completa y en condiciones seguras.

- **Instrumento utilizado**

Se emplea una Lista de Chequeo para Observación de Hornos de Calcinación, estructurada en cinco secciones clave:

- ✓ Información general del momento de observación.
- ✓ Condiciones de operación del horno.
- ✓ Prácticas operativas del personal.
- ✓ Observación de emisiones.
- ✓ Condiciones de trabajo en el área operativa.

Este instrumento facilita la recopilación de información visual y contextual mediante ítems de respuesta cerrada, y permite registrar observaciones cualitativas relevantes.

➤ **Metodología de aplicación**

- ✓ **Planificación:** Las observaciones deben programarse en distintos horarios y días, preferiblemente en condiciones operativas normales.
- ✓ **Ejecución:** El observador registra el área de calcinación con la lista de chequeo impresa o digital, completando cada sección en tiempo real. Se recomienda tomar evidencia fotográfica y registrar comentarios adicionales relevantes.
- ✓ **Duración estimada:** Entre 30 y 45 minutos por horno inspeccionado.
- ✓ **Frecuencia:** La observación debe realizarse al menos una vez por semana durante el desarrollo del proyecto, o según el cronograma establecido en el plan de gestión.
- ✓ Estado físico y funcionamiento del horno.
- ✓ Condición del material ingresado al horno.
- ✓ Adherencia a prácticas operativas recomendadas.

- ✓ Uso adecuado de equipos de protección personal.
- ✓ Presencia y características de emisiones visibles.
- ✓ Condiciones del entorno de trabajo (limpieza, iluminación, seguridad).

➤ **Seguridad y ética**

El procedimiento debe realizarse sin interferir con la operación normal y garantizando en todo momento la seguridad del observador. No se debe intervenir ni modificar ningún proceso durante la inspección. La información será tratada con confidencialidad y utilizada exclusivamente para fines de mejora dentro del proyecto.

➤ **Uso de la información**

- ✓ Los datos recolectados permitirán:
 - Identificar desviaciones operativas y condiciones inseguras.
 - Correlacionar observaciones visuales con datos cuantitativos de emisiones.
 - Formular recomendaciones específicas para el control de emisiones.
 - Fortalecer la toma de decisiones en términos de mantenimiento, capacitación y mejora tecnológica.

Enlace: Modelo de lista de chequeo (<https://forms.gle/8Ty1rfzhSpj9AAZVA>)

3.4.2 Descripción del procedimiento para la revisión documental

La revisión documental constituye un paso fundamental en la fase de diagnóstico del proyecto, ya que permite identificar antecedentes normativos, técnicos y operativos relacionados con el cumplimiento en el proceso de calcinación. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, este procedimiento se articula con las fases de iniciación y planificación, dado que contribuye a la delimitación del problema, la identificación de riesgos iniciales y el establecimiento de requerimientos clave del proyecto (PMI, 2021).

- El procedimiento se desarrollará en cuatro etapas:
- Identificación de fuentes documentales: Se seleccionarán internos de la planta como manuales operativos, informes técnicos de emisiones, registros de mantenimiento, informes de auditorías ambientales, permisos ambientales vigentes y resoluciones normativas como la Resolución 909 de 2008 del MinAmbiente. Además, se incluirán informes de sostenibilidad de Acerías Paz del Río (2020-2024) publicados en su portal web institucional.
- Criterios de selección y validación: Los documentos se evaluarán en función de su actualidad (no mayor a 5 años), relevancia directa con los objetivos del proyecto, y confiabilidad de su origen (documentos oficiales, técnicos, normativos o corporativos).
- Extracción y categorización de la información: La información será organizada por categorías estratégicas: cumplimiento normativo y ambiental, eficiencia operativa y productividad, y calidad del material. Se utilizará una matriz de análisis documental para registrar hallazgos clave, vacíos normativos, prácticas destacadas o desviaciones.

- **Análisis y triangulación:** Los hallazgos se contrastarán con la información recolectada mediante cuestionarios, listas de chequeo y observación directa, permitiendo validar y enriquecer el análisis desde un enfoque mixto. Esta triangulación fortalecerá la credibilidad y coherencia del diagnóstico final del proyecto.

Este procedimiento no solo permite establecer una línea base documental, sino que garantiza una gestión adecuada del conocimiento dentro del proyecto, promoviendo la toma de decisiones fundamentadas (Kerzner, 2022).

3.5 Análisis de información

Una vez recolectada la información a los 7 operarios y 4 técnicos de la empresa Acerías Paz del Río, se realizó un análisis de la información recolectada a través de Google Forms (Formularios de Google) el cual sigue una metodología estructurada para garantizar la precisión y relevancia de los resultados. A continuación, se describe el proceso para llevar a cabo el análisis de los datos recolectados mediante este medio.

- **Recolección y Exportación de Datos**

Una vez que los cuestionarios sean completados por los participantes (operadores y técnicos), los datos se almacenarán automáticamente en Google Forms.

Los datos podrán exportarse a una hoja de cálculo de Google Sheets o en formato CSV para ser manipulados y analizados.

- **Codificación de datos**

Para transformar los datos en información relevante, se utilizó el software JASP. Este software permitió organizar y analizar los datos mediante las siguientes técnicas:

- Codificación numérica: Se asignaron valores numéricos a las respuestas del cuestionario para facilitar el análisis estadístico (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).
- Clasificación de texto: Las respuestas abiertas fueron categorizadas en temas clave como "Percepción del impacto ambiental", "Eficiencia de tecnologías de filtración" y "Medidas preventivas sugeridas".

Las respuestas abiertas fueron categorizadas de la siguiente manera: En el cuestionario sobre emisiones de material particulado en hornos de calcinación se cuenta con la pregunta abierta: ¿Tiene algún comentario adicional o sugerencia sobre el control de emisiones de material particulado en los hornos de calcinación?

Y en el formulario “lista de chequeo observación de hornos de calcinación” se cuenta con tres preguntas abiertas las cuales se relacionan a continuación: ¿Se observan emisiones visibles durante el funcionamiento del horno? Describa de forma detallada riesgos o peligros observados y por último se deja la opción de sugerencias adicionales según crea pertinente. Ver anexos C, D, E y F

- **Preparación de los Datos**

- Limpieza de datos: Se revisarán las respuestas para detectar errores o datos incompletos. Esto puede incluir la eliminación de respuestas duplicadas o irrelevantes.
- Codificación: Para facilitar el análisis, las preguntas abiertas serán codificadas, lo que significa agrupar las respuestas similares en categorías. Las preguntas cerradas o de opción múltiple estarán listas para el análisis cuantitativo sin necesidad de codificación.

3.5.1 Análisis Cuantitativo

Para preguntas cerradas, se realizará un análisis cuantitativo usando Google Sheets u otras herramientas de análisis de datos. Este tipo de análisis permitirá interpretar las respuestas obtenidas de forma numérica.

- Frecuencias y porcentajes: Se calculará la frecuencia con la que cada respuesta fue seleccionada para preguntas de opción múltiple. Un ejemplo de frecuencia y porcentajes se puede observar en: cuántos participantes indicaron que creen que el control de emisiones es "efectivo" o "poco efectivo".
- Gráficos: Se generarán gráficos como histogramas, gráficos de barras o de torta para visualizar la distribución de las respuestas.

3.5.2 *Análisis Cualitativo*

Para las preguntas abiertas, se utilizará un enfoque cualitativo. Este tipo de análisis permite profundizar en las percepciones y sugerencias de los participantes.

- **Codificación temática:** Se identificarán temas o patrones comunes en las respuestas de las preguntas abiertas.
- **Análisis de contenido:** Este paso implica clasificar las respuestas en categorías, como "condiciones laborales", "manejo de residuos" o "sugerencias de mejora", para identificar tendencias cualitativas.

3.5.3 *Interpretación de los Resultados*

- **Comparación con estándares:** Los resultados obtenidos se compararán con las normativas ambientales y las mejores prácticas operativas para evaluar si los procesos actuales están alineados con los requerimientos.
- **Identificación de áreas críticas:** Se destacarán las áreas donde los operadores y técnicos perciben mayores dificultades, como el control de las emisiones o la efectividad de los filtros.
- **Sugerencias de mejora:** Con base en el análisis cualitativo, se identificarán recomendaciones prácticas de los encuestados para mejorar los procesos y reducir las emisiones.

3.5.4 Informe Final del Análisis

Una vez completado el análisis cuantitativo y cualitativo, los resultados se integrarán en un informe que:

- Describa las principales conclusiones sobre la percepción de los operadores y técnicos sobre las emisiones de material particulado.
- Proporcione una base de evidencia para las propuestas de mejora en los hornos verticales para la producción de cal.
- Incluya gráficos y tablas que resuman los hallazgos clave.
- Este proceso garantiza que los datos recolectados a través de Google Forms se analicen de manera estructurada y detallada, proporcionando insights valiosos para la investigación.

3.6 Consideraciones éticas

La investigación sigue estrictamente los principios éticos establecidos para la investigación científica. Se tomaron en cuenta las medidas necesarias para proteger los derechos, la integridad y la confidencialidad de los participantes y el respeto a las normativas legales y medioambientales aplicables.

3.6.1 Análisis de consideraciones éticas

Para garantizar el respeto por la autonomía de los participantes (operadores y técnicos), se implementará un proceso de consentimiento informado antes de recolectar cualquier información. Se les explicará claramente el propósito de la investigación, los procedimientos a seguir, los riesgos y beneficios, y se aclara que su participación es voluntaria y pueden retirarse

en cualquier momento sin repercusiones. Cada participante firmará un documento de consentimiento donde manifiesten su acuerdo para participar, lo anterior retomando lo establecido por OMS, (2011). Ver anexo A.

- **Consentimiento informado**

Para garantizar el respeto por la autonomía de los participantes (operadores y técnicos), se implementará un proceso de consentimiento informado antes de recolectar cualquier información. Se les explicará claramente el propósito de la investigación, los procedimientos a seguir, los riesgos y beneficios, y se aclara que su participación es voluntaria y pueden retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Cada participante firmará un documento de consentimiento donde manifiesten su acuerdo para participar, lo anterior retomando lo establecido por OMS, (2011). Ver anexo A

- **Confidencialidad y anonimato**

Para proteger la identidad de los participantes, se implementarán medidas estrictas de confidencialidad y anonimato. Los datos recolectados a través de cuestionarios y observaciones no se asociaron con nombres personales ni detalles que permitan identificar a las personas. Los resultados se presentarán de forma agregada, sin revelar información individual sensible. Asimismo, se cumplirá con las normativas de protección de datos establecidas por la Ley 1581 de 2012 en Colombia.

- **Minimización de riesgos**

Se garantizará que la participación en el estudio no representa ningún riesgo físico o emocional para los involucrados. Se prestará especial atención a asegurar que la investigación no interfiera negativamente en las condiciones laborales o genere repercusiones adversas para los empleados de la empresa Paz del Río. Además, la información que se obtenga será utilizada exclusivamente para fines académicos y de mejora operativa, evitando su uso con fines punitivos o que puedan afectar a la empresa o a sus empleados; Asociación Médica Mundial (2013).

- **Transparencia y acceso a la información**

El proceso de investigación mantendrá una transparencia total en todas sus etapas. Los resultados y hallazgos estarán disponibles para los participantes y la organización, según el principio de justicia. Esto implica que las recomendaciones surgidas del estudio se compartirán con la empresa Paz del Río, para que puedan ser utilizadas en la mejora de sus procesos operativos y en la reducción de las emisiones de material particulado, contribuyendo así al bienestar de la comunidad local. UNIMINUTO (2018)

- **Responsabilidad ambiental y social**

En sintonía con las normativas científicas y con el compromiso ético de proteger el medio ambiente, la investigación se orientará no solo a beneficiar a la empresa, sino también a reducir el impacto ambiental generado por las emisiones de material particulado. Se promoverá la responsabilidad social y ambiental, asegurando que las soluciones propuestas respeten las

regulaciones vigentes sobre calidad del aire y que el bienestar de la comunidad en Nobsa sea un factor prioritario. UNEP (2020).

La estricta aplicación de estos principios éticos permitirá que la investigación se conduzca responsablemente, protegiendo a los participantes, asegurando la integridad del proceso, y generando resultados que contribuyan al bienestar de los trabajadores de Paz del Río y de la comunidad. Además, el cumplimiento de estos lineamientos refuerza el compromiso con la ética de UNIMINUTO y con las mejores prácticas de la investigación científica.

3.6.2 Instrumentos de aceptación y autorización

En el marco de la investigación, es importante contar con la debida autorización de la empresa y el consentimiento informado de los participantes. Estos instrumentos de aceptación y autorización aseguran que la investigación se desarrolle bajo un marco ético adecuado, garantizando la protección de los derechos y la confidencialidad de los participantes, así como el respeto a las normativas y procedimientos internos de la empresa.

El consentimiento informado permite a los operadores y técnicos del estudio comprender los objetivos, procedimientos y posibles implicaciones de su participación, mientras que la empresa autoriza el proyecto asegura que respeta sus políticas y normativas de seguridad. Ver anexo B

4 RESULTADOS

4.1 Requisitos de cumplimiento del proyecto en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

El proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río no solo implica una serie de operaciones técnicas; también requiere cumplir con un conjunto de condiciones esenciales que aseguren que cada etapa se realice con calidad, eficiencia y dentro del marco normativo y ambiental exigido. Este diagnóstico busca identificar y analizar esos requisitos clave, entendiendo su impacto desde la gerencia de proyectos, es decir, cómo afecta la planificación, ejecución y éxito del proyecto.

Uno de los primeros aspectos que se evidencian es la rigurosidad técnica del proceso. Según el patrón de calcinación establecido por la empresa, se deben respetar parámetros específicos relacionados con el tamaño de la piedra (granulometría) y la calidad química del material final. Por ejemplo, el contenido de óxido de calcio (CaO) debe ser igual o superior al 51%, y la pérdida por calcinación no debe superar el 4,8%. Para garantizar que se cumplan estos valores, el proceso está apoyado en equipos de medición y control altamente especializados: sensores de temperatura, válvulas de presión, software industrial y pruebas de laboratorio. Desde la gestión del proyecto, esto implica una necesidad constante de monitoreo, ajustes técnicos y coordinación entre áreas, lo que exige disciplina operativa y personal calificado.

En cuanto al cumplimiento legal y normativo, la empresa ha desarrollado un procedimiento específico para identificar y evaluar las leyes, normas y compromisos ambientales

que debe seguir. Este aspecto es clave, porque cualquier incumplimiento no solo podría detener el proyecto, sino generar sanciones y afectar la imagen de la empresa. Se deben seguir, por ejemplo, los límites permitidos para emisiones al aire, el uso adecuado del gas natural como combustible y el manejo correcto de residuos sólidos. Desde la gerencia del proyecto, esto representa una serie de “reglas del juego” que deben estar presentes en cada fase del trabajo, desde el diseño hasta la operación diaria.

Además, se identifican compromisos ambientales muy claros. La empresa realiza inspecciones ambientales de manera periódica para prevenir fugas de gas, emisiones no controladas o acumulación de residuos. Estas tareas se registran y se corrigen inmediatamente si algo no está funcionando bien. Esto no solo garantiza el cumplimiento ambiental, sino que protege a las personas que trabajan en el proceso y las comunidades cercanas. En términos de proyecto, estas acciones forman parte del control de riesgos y la sostenibilidad del proceso.

Otro aspecto fundamental es el aseguramiento de las condiciones operativas. A través de listas de chequeo técnicas, el personal verifica que los hornos estén en buen estado, que las válvulas funcionen correctamente, que las temperaturas sean las adecuadas y que no haya bloqueos en los sistemas. Estas rutinas operativas aseguran que el proceso no se detenga, que no haya fallas inesperadas y que se produzca cal de buena calidad. Para la gerencia de proyectos, estas listas son herramientas prácticas para mantener el control del cronograma, del presupuesto y de los objetivos técnicos.

Finalmente, el inicio del proceso, que corresponde a la recepción y almacenamiento de la caliza, también tiene sus propios requisitos. La piedra que llega debe estar en condiciones

óptimas, sin exceso de humedad ni contaminación. Si este paso falla, todo el proceso puede verse comprometido. Desde la gestión del proyecto, esto refuerza la importancia de contar con proveedores confiables, procesos de inspección en la recepción del material y un manejo adecuado de inventarios.

En resumen, el proceso de calcinación en Acerías Paz del Río está rodeado de requisitos que, más allá de lo técnico, reflejan el compromiso de la empresa con la calidad, el medio ambiente, la seguridad y el cumplimiento legal. Para que el proyecto sea exitoso, estos requisitos deben gestionarse como pilares fundamentales en cada fase: deben conocerse, controlarse y mantenerse actualizados. Desde la gerencia de proyectos, se requiere una visión integral que permita coordinar a las personas, los recursos, el tiempo y las normas, para que todo funcione como un sistema bien engranado y orientado a resultados.

4.2 Categorías de cumplimiento de recolección en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

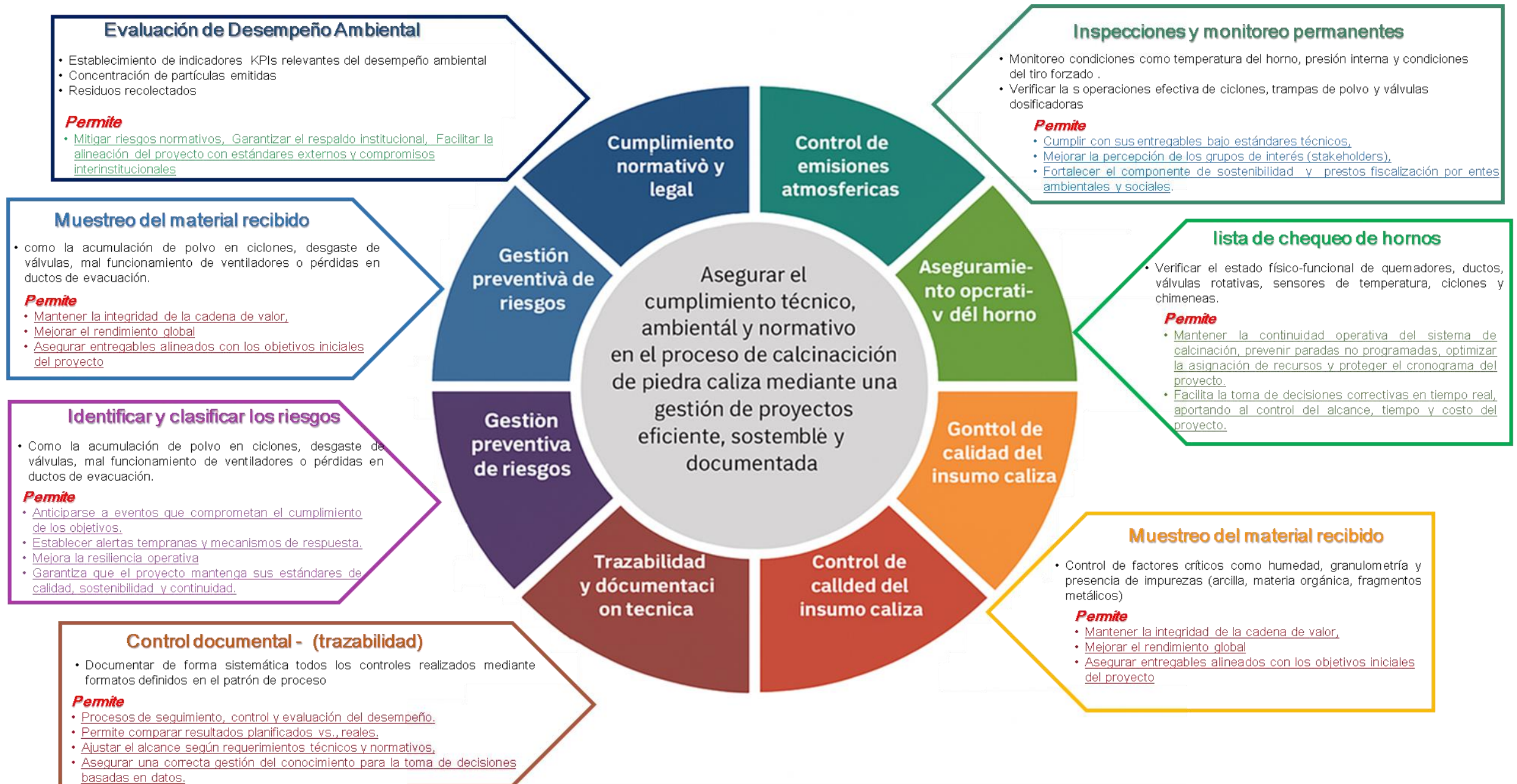
En el marco del análisis del proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río, ubicadas en el municipio de Nobsa – Boyacá, se identifican diversas categorías importantes que permiten evaluar el grado de cumplimiento en la recolección del material particulado. Estas categorías agrupan aspectos normativos, técnicos, operativos, ambientales y de control documental, los cuales inciden de manera directa en la eficiencia del proceso y en el cumplimiento de los estándares legales y ambientales exigidos. Desde la gerencia de proyectos, este enfoque categorizado permite estructurar el seguimiento y control del proyecto de manera integral, facilitando la identificación de acciones de desviaciones, la aplicación de acciones correctivas y la alineación con los objetivos estratégicos institucionales. A continuación, se presenta el cuadro detallado de las categorías de cumplimiento, el cual constituye un insumo fundamental para la toma de decisiones informada y la mejora continua del proceso evaluado.

Tabla 2 Categorías de cumplimiento de recolección en el proceso de calcinación de piedra caliza

Categoría de cumplimiento	Descripción técnica del cumplimiento	Perspectiva desde gerencia de proyectos
1. Cumplimiento normativo y legal	La empresa implementa el procedimiento PO-VSMPDR-VPM-113 para identificar, acceder y evaluar de manera periódica los requisitos legales ambientales y de seguridad que aplican a la calcinación de piedra caliza. Se realiza un análisis de aplicabilidad y se documentan evidencias de cumplimiento frente a normas como la Resolución 909 de 2008 y las disposiciones de CORPOBOYACÁ.	Esta categoría constituye el fundamento legal del proyecto, asegurando su legitimidad operativa. Desde la perspectiva de gerencia de proyectos, este cumplimiento permite mitigar riesgos normativos, garantizar el respaldo institucional, y facilitar la alineación del proyecto con estándares externos y compromisos interinstitucionales, esenciales en las fases de planificación, ejecución y cierre del proyecto.
2. Control de emisiones atmosféricas	Se ejecutan inspecciones sistemáticas (PO-VSMPDR-VPM-008) y se monitorean condiciones como temperatura del horno, presión interna y condiciones del tiro forzado para evitar emisiones fuera de los límites permitidos. Se verifica la operación efectiva de ciclones, trampas de polvo y válvulas dosificadoras para garantizar una recolección eficiente del material particulado.	Desde la gerencia de proyectos, esta categoría se asocia a los criterios de calidad y desempeño ambiental. Su cumplimiento contribuye a que el proyecto cumpla con sus entregables bajo estándares técnicos, mejore la percepción de los grupos de interés (stakeholders), y fortalezca el componente de sostenibilidad, crucial en proyectos industriales sujetos a fiscalización por entes ambientales y sociales.
3. Aseguramiento operativo del horno	La lista de chequeo de hornos permite verificar el estado físico-funcional de quemadores, ductos, válvulas rotativas, sensores de temperatura, ciclones y chimeneas. Estos equipos son claves en la captación primaria del material particulado. Las inspecciones previas al encendido y al apagado de los hornos garantizan condiciones controladas y seguras de operación.	Esta categoría responde al componente "control de ejecución" de la gerencia de proyectos. Su cumplimiento permite mantener la continuidad operativa del sistema de calcinación, prevenir paradas no programadas, optimizar la asignación de recursos y proteger el cronograma del proyecto. Además, facilita la toma de decisiones correctivas en tiempo real, aportando al control del alcance, tiempo y costo del proyecto.
4. Control de calidad del insumo caliza	Según el procedimiento PO-PDR-ACE-101, se inspecciona visualmente y se realiza muestreo del material recibido, controlando factores críticos como humedad, granulometría y presencia de impurezas (arcilla, materia orgánica, fragmentos metálicos). La calidad del insumo influye directamente en la eficiencia térmica del horno y la formación de partículas volátiles.	Esta categoría tiene un alto impacto en la planificación y control de calidad del proyecto. Un insumo no conforme puede alterar los tiempos de proceso, disminuir la eficiencia energética, aumentar la emisión de partículas y generar retrabajos. Desde la gerencia de proyectos, su cumplimiento contribuye a mantener la integridad de la cadena de valor, mejorar el rendimiento global y asegurar entregables alineados con los objetivos iniciales del proyecto.
5. Trazabilidad y documentación técnica	Se documentan de forma sistemática todos los controles realizados mediante formatos definidos en el patrón de proceso PP-PDR-ACE-005, registros de inspección ambiental, informes de no conformidad y acciones correctivas. La trazabilidad es crítica para la recolección de evidencia en auditorías internas y externas.	Desde el punto de vista de la gerencia de proyectos, esta categoría aporta a los procesos de seguimiento, control y evaluación del desempeño. La trazabilidad permite comparar resultados planificados vs., reales, ajustar el alcance según requerimientos técnicos y normativos, y asegurar una correcta gestión del conocimiento para la toma de decisiones basadas en datos.

6. Gestión preventiva de riesgos	Se identifican y clasifican los riesgos asociados a puntos críticos del proceso, como la acumulación de polvo en ciclones, desgaste de válvulas, mal funcionamiento de ventiladores o pérdidas en ductos de evacuación. Estas condiciones son evaluadas mediante análisis cualitativos y cuantitativos, y se implementan medidas correctivas y preventivas.	Esta categoría se enmarca en la gestión de riesgos del proyecto, permitiendo anticiparse a eventos que comprometan el cumplimiento de los objetivos. Al establecer alertas tempranas y mecanismos de respuesta, se mejora la resiliencia operativa y se garantiza que el proyecto mantenga sus estándares de calidad, sostenibilidad y continuidad.
7. Evaluación del desempeño ambiental	La empresa establece indicadores claves de desempeño (KPIs) ambientales como concentración de partículas emitidas, eficiencia de retención en ciclos y cantidad de residuos recolectados. Se realizan comparaciones periódicas entre valores reales y estándares normativos, documentando mejoras o desviaciones.	Esta categoría fortalece la evaluación del desempeño del proyecto, integrando criterios de responsabilidad ambiental. Los indicadores permiten medir avances, identificar cuellos de botella, reportar logros frente a metas de sostenibilidad y generar informes a partes interesadas internas y externas. Desde la gerencia de proyectos, favorece la toma de decisiones basadas en evidencias y mejora la reputación organizacional.

Figura 1 Artefacto Rueda de Cumplimiento Estratégico para Proyectos de Captación de Material Particulado en Calcinación de Piedra Caliza



4.3 Métodos propuestos para apoyar el cumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

Considerando las exigencias técnicas, normativas y operativas del proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río, ubicadas en el municipio de Nobsa – Boyacá, se hace indispensable la implementación de mecanismos que respalden el cumplimiento de los requisitos ambientales. Desde la gerencia de proyectos, resulta fundamental adoptar métodos que permitan integrar la gestión ambiental con la planificación, el control y la mejora continua del proceso. En este sentido, la siguiente matriz presenta una serie de métodos propuestos que responden a las principales categorías de cumplimiento identificadas, con el fin de optimizar la operación, reducir los riesgos ambientales y fortalecer la trazabilidad del desempeño ambiental dentro del ciclo de vida del proyecto.

Tabla 3 Métodos propuestos para apoyar el cumplimiento de requisitos ambientales

Categoría de Cumplimiento	Método propuesto	Funcionalidad Técnica	Beneficios Ambientales y Operacionales	Análisis Gerencia de Proyectos
1. Cumplimiento normativo y legal	Implementación de un sistema automatizado de seguimiento normativo (plataforma digital con alertas y actualizaciones legales).	Utilice un software conectado a bases de datos oficiales (Diario Oficial, páginas de entidades reguladoras) para monitorear cambios legislativos aplicables al sector industrial.	Evite el riesgo de operar fuera del marco legal. Asegurar el cumplimiento de las resoluciones ambientales y facilitar la gestión documental de licencias, permisos y autorizaciones.	Mejora el control del alcance y la gestión de riesgos legales. Asegura que el proyecto esté alineado con los requisitos normativos en todas sus fases y evita sanciones que puedan detener o encarecer su ejecución.
2. Control de emisiones atmosféricas	Instalación de sensores inteligentes (IoT) en chimeneas y puntos críticos del horno para monitoreo en tiempo real.	Los sensores miden la concentración de material particulado (PM10, PM2.5), temperatura y presión del flujo de gases. Se integran a sistemas SCADA o de gestión ambiental.	Permiten activar alertas tempranas cuando los valores superan los límites normativos, facilitando acciones correctivas inmediatas y minimizando el impacto ambiental.	Fortalece la gestión de calidad, del tiempo y del monitoreo continuo del proyecto. Aumenta la confiabilidad del sistema y proporciona datos para toma de decisiones técnicas en tiempo real.
3. Aseguramiento operativo del horno	Diseño de una lista de chequeo digital móvil enlazada al software de mantenimiento preventivo.	Permite que los operadores registren en tablets o dispositivos móviles las condiciones del horno (válvulas, trampas, ductos, ciclones) y el estado de filtros y desempolvadores.	Mejora la trazabilidad de los hallazgos y la capacidad de respuesta frente a desviaciones técnicas que podrían generar emisiones no controladas.	Optimiza la gestión de los recursos y del cronograma, al evitar fallas imprevistas y garantizar condiciones seguras y estables en el sistema de calcinación.
4. Control de calidad del insumo caliza	Instalación de un laboratorio de calidad, con personal técnico capacitado y protocolos normalizados.	Realiza análisis de humedad, granulometría, contenido de finos, materiales contaminantes, y composición química del mineral en tiempo real.	Previene el ingreso de caliza húmeda o fuera de especificación que podría aumentar la volatilización de partículas en los hornos.	Mejora la planificación del proceso y asegura que el insumo cumpla con los estándares de calidad definidos en el alcance del proyecto. Reducir el riesgo de reprocesos.
5. Trazabilidad y documentación técnica	Desarrollo de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) digital integrado con bases de datos de mantenimiento, calidad,	Centraliza la información operativa, legal y técnica en una plataforma accesible por las áreas	Permite auditar el cumplimiento ambiental, responder rápidamente ante requerimientos de entidades externas y	Favorece la gestión del conocimiento y del seguimiento, parte fundamental para el control integral del proyecto. Facilita informes a partes interesadas y mejora la transparencia.

	inspecciones y monitoreo ambiental.	de calidad, medio ambiente y producción.	realizar análisis histórico de desempeño.	
6. Gestión preventiva de riesgos	Implementación de una matriz dinámica de riesgos operacionales y ambientales, evaluada trimestralmente por el equipo del proyecto.	Asigne evaluaciones de impacto y probabilidad de riesgos como fallas en captadores, fugas de presión, fallas eléctricas o acumulación de polvo.	Mejora la capacidad de respuesta, al establecer planes de acción claros y protocolos definidos para cada escenario de desviación o emergencia.	Refuerza la gestión de riesgos del proyecto, prioriza inversiones preventivas, reduce la incertidumbre y mejora la capacidad adaptativa frente a eventos no deseados.
7. Evaluación del desempeño ambiental	Creación de un cuadro de mando ambiental (dashboard digital) con indicadores significativos (KPIs) como emisiones promedio, eficiencia de captación, cumplimiento normativo e informes de incidentes.	Proporciona visualización clara, en tiempo real, del comportamiento ambiental del proceso. Incluye tendencias, comparativos, alertas y niveles de cumplimiento.	Facilitar la evaluación periódica, la mejora continua y el cumplimiento con las normas ISO 14001 y requisitos internos de sostenibilidad.	Mejora la toma de decisiones estratégicas, permite visualizar el estado del proyecto en términos ambientales y facilitar el ajuste de acciones en función del rendimiento real.

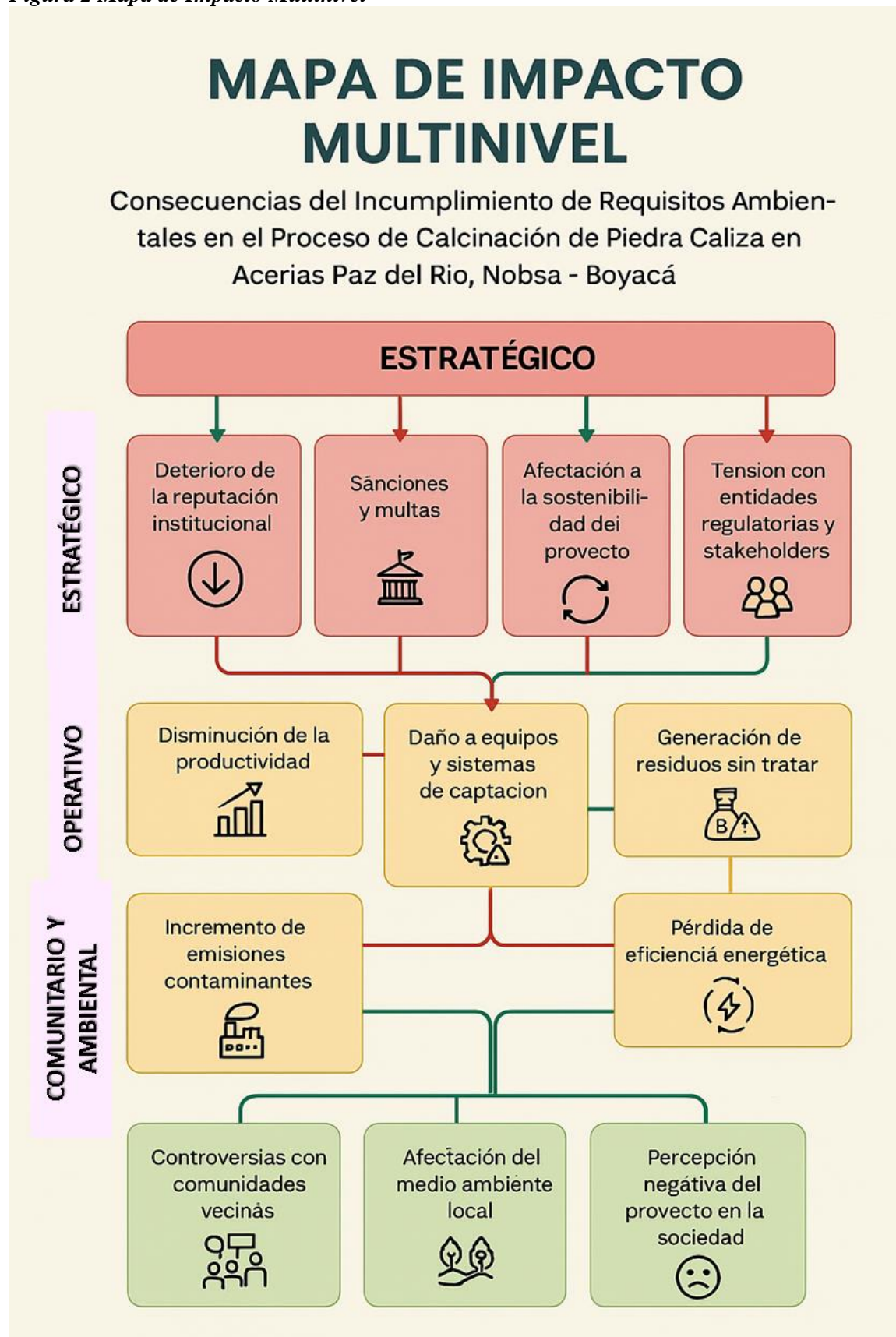
4.4 Análisis de las consecuencias del incumplimiento de requisitos ambientales en el proceso de calcinación de piedra caliza en Acerías Paz del Río Colombia, ubicada en Nobsa – Boyacá.

Desde el enfoque de la gerencia de proyectos, no cumplir con los requisitos ambientales en el proceso de calcinación de piedra caliza representa un riesgo serio para la operación de Acerías Paz del Río. Este tipo de fallas no solo pone en juego el cumplimiento de la ley, sino que también puede afectar la imagen de la empresa y su sostenibilidad a largo plazo. Además, impacta directamente aspectos relevantes del proyecto como el alcance, la calidad, los costos y la gestión de riesgos, afectando tanto a los equipos internos como a los actores externos involucrados.

Entre estos requisitos ambientales se encuentran la implementación adecuada de sistemas de control de emisiones, el seguimiento estricto de lo dispuesto en normas como la Resolución 909 de 2008 y el Decreto 1076 de 2015, así como el cumplimiento de los lineamientos establecidos por Corpoboyacá para el monitoreo, almacenamiento y manejo de residuos.

A continuación, se detallan las principales consecuencias de este incumplimiento, clasificadas según su tipo y nivel de impacto:

Figura 2 Mapa de Impacto Multinivel



5. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto permitió evidenciar que el proceso de captación de material particulado en la calcinación de piedra caliza en la empresa Acerías Paz del Río presenta deficiencias técnicas, operativas y de cumplimiento ambiental que afectan directamente la eficiencia del proceso y la conformidad con la normatividad vigente. La revisión documental de la empresa se estableció una correlación clara entre la obsolescencia de los equipos, la falta de monitoreo continuo y los impactos negativos en la calidad del aire y en la operación del sistema de calcinación, con un análisis riguroso, sustentado en encuestas a operarios y técnicos, listas de chequeo.

El diagnóstico permitió identificar que, aunque existen algunos esfuerzos por parte de la empresa para mitigar los impactos ambientales, estos no se encuentran articulados en una estrategia sistemática ni respaldados por tecnología actualizada. Esto ha generado un bajo nivel de cumplimiento frente a lo exigido por la normativa ambiental colombiana, en particular la Resolución 909 de 2008. La ausencia de indicadores específicos y sistemas de control permanente dificulta tanto la evaluación del desempeño ambiental como la toma de decisiones oportunas para la mejora continua del proceso.

Como resultado del proceso investigativo, se estructuró una propuesta técnica que incluye la implementación de un sistema de monitoreo de emisiones, la definición de indicadores clave de desempeño (KPIs), un mapa de riesgos operativos y ambientales, y una matriz de priorización de acciones. Estas herramientas se diseñaron para mejorar el cumplimiento normativo y

optimizar la eficiencia y productividad del proceso de calcinación, integrando criterios de gestión de calidad, sostenibilidad y viabilidad operativa.

Adicionalmente, el proyecto evidencia la necesidad de fortalecer la cultura organizacional en torno a la gestión ambiental, promoviendo la capacitación del personal y la apropiación de herramientas de control y seguimiento como parte del proceso cotidiano. Este aspecto es crucial para garantizar la sostenibilidad de las acciones propuestas y su incorporación efectiva en la dinámica operativa de la empresa.

En conclusión, el proyecto logró cumplir con sus objetivos al ofrecer un diagnóstico técnico fundamentado, proponer soluciones concretas y viables, y diseñar herramientas de gestión aplicables al contexto operativo de Acerías Paz del Río. Estas conclusiones invitan a la empresa a transitar de un modelo reactivo hacia un enfoque preventivo y estratégico en la gestión de sus procesos industriales, especialmente en lo relacionado con el control de emisiones y el cumplimiento ambiental.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer un plan maestro de modernización tecnológica del sistema de captación de material particulado, con fases claramente definidas, cronogramas específicos y responsables asignados. Este plan debe contemplar la adquisición e instalación de equipos de captación de última generación y sistemas automáticos de monitoreo en línea, que permitan detectar en tiempo real cualquier desviación en los niveles de emisión. Desde la gerencia de proyectos, esta recomendación exige gestionar el alcance, costo y riesgos de la intervención, asegurando una implementación progresiva y controlada, priorizando las áreas más críticas identificadas en el diagnóstico.

De igual forma, es fundamental implementar un sistema integral de monitoreo ambiental con indicadores clave de desempeño (KPIs), que incluya parámetros operativos, ambientales y de mantenimiento. Este sistema debe estar articulado con un software de gestión que permita centralizar la información y generar alertas automáticas para facilitar la toma de decisiones. Para ello, se sugiere estructurar un proyecto específico bajo un enfoque PMI, que contemple la definición del alcance, análisis de interesados, gestión de la calidad y diseño de una estrategia de seguimiento y control efectiva.

Otra acción clave es la formulación e institucionalización de una política ambiental operativa que integre las exigencias legales con objetivos internos de mejora continua. Esta política debe ser el marco orientador para la implementación de procedimientos estandarizados y la evaluación periódica del cumplimiento. En términos de dirección de proyectos, implica crear

un portafolio de iniciativas ambientales que puedan gestionarse conjuntamente, alineadas a los objetivos estratégicos de sostenibilidad y responsabilidad social empresarial.

Asimismo, se recomienda desarrollar un programa de capacitación técnica y ambiental dirigido al personal operativo y de supervisión, con contenidos adaptados a las condiciones específicas del proceso de calcinación. Este programa debe estar incluido como parte de los entregables del proyecto y evaluarse con indicadores de aprendizaje y aplicación práctica. Desde la gerencia de proyectos, se sugiere planificar estas capacitaciones como subproyectos, asegurando recursos, cronogramas definidos y evaluación de impacto organizacional.

Finalmente, es necesario consolidar una cultura organizacional basada en la prevención, el control y la mejora continua, promoviendo la apropiación de herramientas como el mapa de riesgos y la matriz de priorización de acciones. Esto se puede lograr mediante la creación de un comité técnico-ambiental multidisciplinario que haga parte del ciclo de vida de los proyectos operativos. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, esta instancia permitirá alinear las decisiones técnicas con los intereses estratégicos de la empresa, facilitar el seguimiento de las acciones correctivas y fomentar el aprendizaje organizacional.

Referencias

- Acerías Paz del Río. (2023). *Gestión ambiental*. <https://www.pazdelrio.com.co/>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Gestión ambiental y sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.pazdelrio.com.co/>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Informe de Sostenibilidad y Gestión Ambiental Interna*.
- Acerías Paz del Río. (2023). *Informe de sostenibilidad*. <https://www.aceriaspazdelrio.com.co/>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Informes de sostenibilidad documentos y técnicos*. Recuperado de <https://www.aceriaspazdelrio.com.co>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Informes técnicos, procedimientos operativos y documentos ambientales*. Recuperado de <https://www.aceriaspazdelrio.com.co>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Producción sostenible*. <https://www.pazdelrio.com.co/>
- Acerías Paz del Río. (2023). *Sostenibilidad ambiental*. <https://www.pazdelrio.com.co/>
- Acerías Paz del Río. (2024). *Documentación técnica del proceso de calcinación y sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.aceriaspazdelrio.com.co>
- Acerías Paz del Río. (2024). *Informe de sostenibilidad y documentación técnica del proceso de calcinación de caliza*. Recuperado de <https://www.aceriaspazdelrio.com.co>
- Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. s (1995). *Compilation of Air Pollutant Emission Factor* (EPA). AP-42.
- Axelos. (2020). *Gestión de proyectos exitosos con PRINCE2®* (6.ª ed.). TSO (The Stationery Office).
- Axelos. (2023). *Gestión de proyectos exitosos con PRINCE2®* (7.ª ed.). AXELOS Limited.
- Bester, A. (2020). *Gestión basada en resultados y el enfoque del marco lógico*. Oficina de Evaluación del PNUD.

- Cabrera, J., Rodríguez, D. y Moreno, A. (2022). *Evaluación comparativa de sistemas de captación de partículas: ciclones vs filtros de tela en procesos metalúrgicos*. Revista de Ingeniería Ambiental, 19(1), 45–56. <https://doi.org/10.1234/ria.v19i1.2022>
- Castro, A. y Mendoza, J. (2021). *Aplicación del marco lógico en la planificación de proyectos sociales*. Revista de Estudios en Desarrollo, 13(2), 65–80.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). *Informe de sostenibilidad industrial y cumplimiento ambiental en América Latina*.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Comisión Europea (2021). *Métodos de prestación de ayuda: Directrices para la gestión del ciclo de proyectos*. <https://international-partnerships.ec.europa.eu/>
- CCorpoboyacá. (2011). *Concepto técnico No. EAS – 045/2011*. Subdirección Administración Recursos Naturales. pp 9
- Corpoboyacá. (2023). *Documentos técnicos y normativa ambiental aplicables al sector minero-industrial*. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co>
- Corpoboyacá. (2023). *Lineamientos ambientales para el sector minero e industrial en Boyacá*. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co>
- Corpoboyacá. (2023). *Lineamientos para el control de emisiones en procesos industriales*. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co>
- Corpoboyacá. (2023). *Normativa ambiental e informes de cumplimiento*. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co>
- CORPOBOYACÁ. (2024). *Plan de acción institucional 2020-2023*. <https://corpoboyaca.gov.co>
- Creswell, JW, y Creswell, JD (2023). *Diseño de investigación: Enfoques cualitativos, cuantitativos y mixtos* (6.ª ed.). Publicaciones SAGE.
- Daft, RL (2020). *Comprensión de la teoría y el diseño de las organizaciones* (13.ª ed.).
- DD-PDR-VPM-046. (2023). *Caracterización del Proceso Trituración de Caliza*.
- Dillman, D. A., Smyth, J. D., & Christian, L. M. (2014). *Internet, Phone, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method*. John Wiley & Sons.

- Echeverri Londoño, (2006), *Diseño óptimo de ciclones*.
- Esparza, M., & Ruiz, L. (2021). *Evaluación de exposición y riesgo en salud humana por contaminantes ambientales: Principios, métodos y aplicaciones*. *Revista de Salud Ambiental*, 21(2), 33–45. <https://doi.org/10.32776/rsa.v21i2.564>
- Fernández, JA, Morales, D., & Londoño, S. (2021). *Evaluación de la exposición ocupacional a material particulado en trabajadores de la industria de la construcción cerámica*. *Revista Ciencia y Salud en el Trabajo*, 23 (2), 101–115. <https://doi.org/10.22201/rcst.2021.v23n2a6>
- Fernández, L., & Sánchez, P. (2019). *Impacto de las emisiones de dióxido de azufre en la corrosión de estructuras urbanas*. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(3), 124-135.
- García, A., & Buitrago, D. (2020). *Evaluación del rendimiento de ciclones en la industria minera: Eficiencia y costos operativos*. *Revista Ingeniería y Desarrollo Sostenible*, 18(2), 55–67. <https://doi.org/10.1234/rids.v18i2.2020>
- García, A., & Buitrago, D. (2020). *Monitoreo continuo de emisiones particuladas en industrias cementeras: Estudio de caso*. *Ingeniería y Medio Ambiente*, 18(3), 34–43. <https://doi.org/10.4321/ima.v18n3.2020>
- García, H., & Martínez, J. (2021). *Efectos de las partículas finas en la salud respiratoria: Un estudio de las comunidades cercanas a hornos de calcinación*. *Salud Pública y Medio Ambiente*, 10(2), 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.spma.2021.01.003>
- García, M., & Ruiz, F. (2021). *Gestión de los interesados en proyectos: aplicación práctica de la teoría de stakeholders*. *Gestión y Estrategia*, 40(1), 102–115.
- Gaspar, D. (2019). *El enfoque del marco lógico: Una crítica*. En D. Gaspar (Ed.), *Evaluación de proyectos de desarrollo* (pp. 89-112). Routledge.
- Gestión de Proyectos *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)* (7.ª ed.). Instituto de Gestión de Proyectos.
- Gómez, D., Rodríguez, C., & Martínez, A. (2021). *Evaluación de la calidad de la Evaluación de la calidad del aire y control de material particulado PM10 y TSP en zonas industriales mediante tecnologías limpias*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 20 (38), 55–70. <https://doi.org/10.22395/rium.v20n38a4>

- Gómez, L., Silva, J. y Torres, M. (2021). *Efectos ambientales de la lluvia ácida sobre ecosistemas terrestres y acuáticos*. *Revista de Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 18(2), 45–58.
<https://doi.org/10.22201/rcas.2021.18258>
- Gómez, R. (2020). *Evaluación del impacto de las partículas en la durabilidad de las edificaciones*. *Arquitectura y Construcción*, 25(4), 60-78.
- González, F., & Ríos, C. (2021). *Análisis de la calidad del aire mediante el monitoreo de PM10 y PM2.5 y su relación con variables meteorológicas en un sector urbano de Bucaramanga*. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 18 (1), 45–60.
<https://doi.org/10.21897/rca.v18i1.1325>
- González, J., & Pardo, M. (2020). *Evaluación toxicológica de la exposición crónica a contaminantes atmosféricos en poblaciones urbanas*. *Toxicología Ambiental y Ocupacional*, 14(1), 17–29.
- González, L., & Torres, M. (2021). *Gestión de riesgos y cumplimiento en procesos industriales*. Editorial Alfaomega.
- González, LA, Castro, JM y Rincón, CE (2020). *Análisis del proceso de producción de carbonato de calcio precipitado en planta industrial colombiana*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19(37), 87–99. <https://doi.org/10.22395/rium.v19n37a6>
- González, M., & Herrera, J. (2020). *Mejora continua en entornos industriales: Estrategias y herramientas para la optimización de procesos*. Editorial Técnica Latinoamericana.
- González, M., & Pérez, S. (2019). *Metodologías de formulación de proyectos para el desarrollo sostenible*. *Journal of Project Management*, 20(3), 210-225.
- Gray, DE (2020). *Investigando en El Mundo real* (4.ª ed.). Publicaciones SAGE.
- Guerrero, M. y Díaz, L. (2023). *Composición química del material particulado PM2.5 en zonas urbanas de alta densidad vehicular*. *Revista de Contaminación Ambiental*, 19(2), 87–96.
<https://doi.org/10.5678/rca.v19i2.345>
- Gutiérrez, A., & Sánchez, L. (2021). *Gestión de la eficiencia y productividad en procesos industriales*. Editorial Técnica Latinoamericana.
- Hedayat, AS, y Sinha, BK (2022). *Diseño e inferencia en el muestreo de poblaciones finitas*. Springer.

- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Análisis de datos en la ruta cuantitativa*. McGraw-Hill.
- Hernández, A. (2021). Efectos de las emisiones industriales en la biodiversidad y los ecosistemas locales. *Ecología y Medio Ambiente*, 18(2), 85-99.
- Hernández, C., & Vargas, F. (2023). Enfermedades laborales derivadas de exposición a agentes químicos: Una revisión desde la salud ocupacional. *Revista Colombiana de Medicina del Trabajo*, 33(1), 11–22. <https://doi.org/10.7705/rcmt.v33i1.847>
- Hernández, J., & Gómez, R. (2021). Enfoque de sistemas aplicados a la gestión de proyectos. *Revista de Administración y Sistemas*, 12(4), 40-55.
- Instituto de Gestión de Proyectos (PMI). (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía PMBOK®) – Séptima edición*.
- Instituto de Gestión de Proyectos. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)*, 7ª edición.
- Jiménez, L., & Sánchez, F. (2023). *Diseño y optimización de sedimentadores industriales para el control de partículas mayores a 50 micras*. *Revista Colombiana de Ingeniería Ambiental*, 15(1), 42–50. <https://doi.org/10.5678/rcia.v15n1.1502>
- Johnson, B., y Christensen, L. (2021). *Investigación educativa: Enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos* (7.ª ed.). Publicaciones SAGE.
- Jones, R. (2017). *Systemic Approaches in Project Design*. New Horizons Press.
- Joslin, R. y Müller, R. (2020). *Relaciones entre una metodología de gestión de proyectos y el éxito de los proyectos en diferentes contextos de gobernanza de proyectos*. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*, 38(4), 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.03.003>
- Kaplan, RS y Norton, DP (2020). *Mapas estratégicos: Convirtiendo los activos intangibles en resultados tangibles*. Prensa empresarial de Harvard.
- Kerzner, H. (2022). *Gestión de proyectos: Un enfoque sistémico para la planificación, programación y control* (13.ª ed.). Wiley.
- Kerzner, H. (2022). *Gestión de proyectos: un enfoque sistémico para la planificación, programación y control*. (13.ª ed.). Wiley. (13ª ed.). Wiley.

- Kerzner, H. (2022). *Gestión de proyectos: Un enfoque sistémico para la planificación, programación y control* (13.ª ed.). Wiley.
- Lohr, SL (2021). *Muestreo: Diseño y análisis* (3.ª ed.). Chapman y Hall/CRC.
- López, M., Pérez, R., & Díaz, S. (2020). *Emisiones de CO₂ y su impacto en el cambio climático: Caso de la industria cementera*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 32(1), 22-37.
- López-García, R., & Hernández-Callejas, J. (2022). *Percepción ciudadana y conocimiento del índice. Percepción ciudadana y conocimiento del índice de calidad del aire en zonas urbanas altamente contaminadas*. *Revista Latinoamericana de Estudios Ambientales*, 14 (2), 88–104. <https://doi.org/10.35622/rlea.v14i2.233>
- Marnewick, C., Erasmus, W., y Joseph, N. (2021). *Gestión de proyectos de sistemas de información*. Springer.
- Marshall, M. N. (1996). *Sampling for qualitative research*. *Family Practice*, 13(6), 522-525.
- Martínez, C., & López, A. (2020). *La teoría de sistemas en la gestión de proyectos complejos*. *Ingeniería y Sociedad*, 12(3), 44–58.
- Martínez, P., & Sánchez, R. (2021). *Modelado y evaluación de estrategias para la mitigación de emisiones de material particulado en la industria siderúrgica*. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 15 (1), 45–63.
- McConville, F. y Jalifa, L. (2020). *Diseño de cuestionarios eficaces para la investigación*. *Revista de Investigación Aplicada en Educación Superior*, 12(2), 234–248. <https://doi.org/10.1108/JARHE-04-2019-0087>
- Mendoza, JA y Rincón, PE (2021). *Optimización del diseño de ciclones para la eficiencia en la recolección de material particulado en procesos industriales*. *Revista Ingeniería y Aplicaciones Ambientales*, 9 (1), 22–35. <https://doi.org/10.24054/2145-9645.v9.n1.2021.3301>
- Mendoza, R., & Ríos, H. (2022). *Evaluación de condiciones de almacenamiento y empaque en productos derivados de la cal: estudio de caso en una planta de procesamiento en Boyacá*. *Revista de Materiales y Procesos Industriales*, 7(2), 45–53. <https://doi.org/10.5678/rempi.v7i2.304>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2021). *Resolución 2254 de 2017 y 2255 de 2017*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2008). *Resolución 909 de 2008 sobre emisiones atmosféricas*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. *Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2008). *Resolución 909 de 2008*.
<https://www.minambiente.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017 y Resolución 2255 de 2017*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Actualización de límites de emisión para fuentes fijas. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Normatividad sobre emisiones atmosféricas en Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 909 de 2008 y actualizaciones.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Actualización de la Resolución 909 de 2008 sobre emisiones atmosféricas. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Guía de cumplimiento normativo en emisiones atmosféricas y Resolución 909 de 2008 (actualización 2021). Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>
- Miranda, R., & Pérez, D. (2020). El marco teórico como herramienta estratégica en la gestión de proyectos. *Revista Latinoamericana de Administración de Proyectos*, 9(1), 24–37.
- Miranda, R., & Pérez, D. (2020). El marco teórico como herramienta estratégica en la gestión de proyectos. *Revista Latinoamericana de Administración de Proyectos*, 9(1), 24–37.
- Morales, JL, Ramírez, AC y Cruz, PM (2020). Gestión estratégica del cumplimiento normativo y desempeño organizacional en proyectos industriales. *Revista de Ingeniería y Gestión Empresarial*, 15(2), 45–60. <https://doi.org/10.1234/rige.v15i2.2020>
- Müller, R., y Turner, JR (2021). *La influencia de los gestores de proyectos en los criterios de éxito del proyecto y el éxito del proyecto según el tipo de proyecto*. *European Management Journal* , 39(1), 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.03.005>

- Naciones Unidas. (2022). *Informe de seguimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe*. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- OPS. (2018), Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes, Consultada 26 de septiembre de 2024, <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes#:text=La%20exposici%C3%B3n%20altos,cerebrovasculares>.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/es/goals>
- Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011). *Normas éticas en la investigación con seres humanos*.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Evaluación de riesgos para la salud ambiental: Principios y prácticas*. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036345>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Guía mundial de la calidad del aire: actualización 2021*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240034228>
- Paredes, A., & Hernández, D. (2022). *Evaluación del impacto de la lluvia ácida sobre suelos agrícolas en zonas industriales de Latinoamérica*. *Revista Latinoamericana de Medio Ambiente*, 14(1), 29–42. <https://doi.org/10.1234/rlma.v14i1.432>
- Pérez, JA y Lozano, MC (2022). *Tecnologías limpias en el tratamiento de emisiones industriales*. *Revista Ingenierías*, 21(41), 100-118.
- Pérez, L., & Gómez, A. (2020). *Control de emisiones industriales mediante precipitadores electrostáticos*. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(4), 74-88.
- Pérez, L., Gómez, A., & Ortega, P. (2020). *Exposición a metales pesados en comunidades cercanas a plantas industriales*. *Salud y Medio Ambiente*, 7(1), 56-72.
- Pinto, J. (2020). *Project Management: Planning, Scheduling, and Controlling*. Global Education.
- PO-PDR-ACE-101. (2023). *Recepción y Almacenamiento de Caliza V4.0*.
- PO-VSMPDR-VPM-008. (2023). *Inspecciones Ambientales V2.0*.
- PP-PDR-ACE-005. (2023). *Patrón de Proceso Calcinación V5.1*. Acerías Paz del Río.

- Ramírez Orellana, (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca- Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549; Rev. Toxicol; vol. 32, núm. (2); pp. 121-126;
- Ramírez, D., Rodríguez, A. y Patiño, J. (2021). Evaluación de la calidad del aire y caracterización del material particulado en zonas industriales de Colombia. Revista Ingeniería Ambiental, 27(1), 45–56. <https://doi.org/10.1234/ria.v27i1.287>
- Ramírez, F., & Paredes, J. (2022). *Control de calidad en materiales industriales: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Ecoe Ediciones.
- Ramírez, F., Castillo, M. y Rivas, J. (2020). *Influencia de la lluvia ácida en cuerpos de agua dulce y biodiversidad acuática: una revisión*. Ecología y Contaminación Ambiental, 26(3), 77–89. <https://doi.org/10.5678/eca.v26i3.567>
- Ramírez, J., & Herrera, C. (2022). *Tecnologías de monitoreo ambiental en procesos industriales*. Editorial Ecoingeniería.
- Ramírez, J., & Vega, M. (2022). *Aplicación de sistemas de control húmedo en procesos industriales contaminantes*. Revista Latinoamericana de Tecnología Ambiental, 9(3), 77–85. <https://doi.org/10.4321/rlta.v9n3.2022>
- Ramírez, J., & Vega, M. (2022). *Aplicación de sistemas de control húmedo en procesos industriales contaminantes*. Revista Latinoamericana de Tecnología Ambiental, 9(3), 77–85. <https://doi.org/10.4321/rlta.v9n3.2022>
- Ramírez, L., & Paredes, M. (2021). *Diseño y evaluación de un sistema de filtración de polvo de bajo costo para procesos agroindustriales. Diseño y evaluación de un sistema de filtración de polvo de bajo costo para procesos agroindustriales de molienda*. Revista Colombiana de Tecnologías de Manufactura, 19 (1), 34–48. <https://doi.org/10.21895/rcmt.v19n1a3>
- Rincón, F., & Vargas, C. (2022). *Monitoreo de PM10 y PM2.5 y análisis de sus fuentes en contextos urbanos latinoamericanos*. Revista de Ciencia y Ambiente, 30(3), 112–124. <https://doi.org/10.5678/rcya.v30i3.412>
- Rivera, M., & Morales, C. (2020). *Estrategias de monitoreo de emisiones en procesos industriales*. Revista de Medio Ambiente y Tecnología, 8(4), 120-135.
- Rodríguez, J., & Álvarez, S. (2022). *Evaluación comparativa de metodologías de gestión de proyectos en organizaciones públicas*. Revista de Innovación y Gestión Pública, 6(1), 33–49.

- Rojas, D., Martínez, P., & Pérez, E. (2021). *Mecanismos de separación de partículas y su aplicación en la industria: Un enfoque práctico*. Ciencia y Técnica, 20(1), 23–36.
<https://doi.org/10.5678/cyte.v20n1.2021>
- Roulston, K., y Shelton, SA (2021). *Realización de investigaciones observacionales*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780429316907>
- Ruiz, JA y Escobar, C. (2021). *Diseño muestral para estudios ambientales con poblaciones finitas: una revisión conceptual*. Revista Colombiana de Estadística, 44 (1), 67–85.
<https://doi.org/10.15446/rce.v44n1.88476>
- Salazar, M. y Quintero, L. (2020). *Evaluación de material particulado (PM10 y TSP) en zonas urbanas: métodos de monitoreo, análisis de riesgos y tecnologías de control*. Revista de Medio Ambiente y Sostenibilidad, 12 (2), 76–92.
<https://doi.org/10.22201/rmas.2020.v12n2a5>
- Saldaña, J., y Omasta, M. (2022). *Investigación cualitativa: Analizando la vida* (2.^a ed.). Publicaciones SAGE.
- Sánchez, DF y Herrera, ML (2021). *Gestión ambiental y cumplimiento normativo en proyectos industriales sostenibles*. Revista Latinoamericana de Gestión Ambiental, 12(1), 33–47.
<https://doi.org/10.22201/rlga.2021.12103>
- Sánchez, M., & Pérez, L. (2021). *Aplicación del enfoque de marco lógico en la formulación de proyectos sociales*. Revista de Gestión Pública y Desarrollo, 7(2), 55–70.
- Sandoval Meneses, J. X. (2021). *Evaluación de la concentración de material particulado (PM2.5) y su relación con enfermedades respiratorias en el municipio de Sogamoso, Boyacá-Colombia*.
- Santos, J., & Ramírez, F. (2021). *Uso de ciclones en el control de emisiones en procesos industriales*. Journal of Environmental Engineering, 12(3), 100-112.
- Schwalbe, K. (2021). *Gestión de proyectos de tecnología de la información* (9.^a ed.). Cengage Learning.
- Scott, J. (1990). *A Matter of Record: Documentary Sources in Social Research*. Polity Press.
- Serrador, P., y Turner, JR. (2020). *Relación entre el éxito y la eficiencia del proyecto*. Project Management Journal, 51(4), 348–361. <https://doi.org/10.1177/8756972820918940>

- Sierra Herrero & Nasser Olea, (2012), *La responsabilidad del empleador por enfermedades profesionales de sus trabajadores: enfoque jurisprudencial*, 19 de septiembre 2024, https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Sierra+Herrero+%26+Nasser+Olea%2C+2012&btnG=
- Taherdoost, H. (2022). *Importancia del diseño de investigación y el desarrollo de cuestionarios en la recopilación de datos*. *Revista Internacional de Investigación Académica en Gestión*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4183970>
- Taylor, S. J. y Bogdan, R. (2010). *Introducción a los métodos cualitativos*. Nueva York: Book Print (edición original, 1992).
- Too, EG, y Weaver, P. (2020). *La gestión de proyectos: Un marco conceptual para la gobernanza de proyectos*. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*, 38(7), 447–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.04.001>
- Torres, A., Rincón, C. y Morales, E. (2021). *Evaluación de eficiencia de filtros de tela en plantas cementeras*. *Ingeniería e Investigación Industrial*, 29(2), 93–102. <https://doi.org/10.4321/iii.v29n2.2021>
- Torres, A., Rincón, C. y Morales, E. (2021). *Filtros de mangas en el tratamiento de emisiones: Eficiencia*. *Ingeniería e Investigación Industrial*, 29(2), 93–102 <https://doi.org/10.4321/iii.v29n2.2021>
- Torres, A., Rincón, C. y Morales, E. (2021). *Filtros de mangas en el tratamiento de emisiones: Eficiencia operativa y mantenimiento*. *Ingeniería e Investigación Industrial*, 29(2), 93–102. <https://doi.org/10.4321/iii.v29n2.2021>
- Ucrós Fajardo Juan Carlos, (2009), *Modelamiento de estrategias para reducción de material particulado en el aire*
- UNEP (2020). *Principios éticos para la investigación sobre el medio ambiente y la sostenibilidad*. UNIMINUTO (2018). *Guía de Ética en la Investigación*.
- Vargas, A., & Amurrio, D. (2001), *Modelización de un Proceso de Calcinación en un Horno Rotatorio*, consultado 19 de septiembre 2024, https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Vargas%2C+A.%2C+%26+Amurrio%2C+D.+2001&btnG=
- Vázquez, D. (2020). *Marco lógico: Aplicaciones y limitaciones en la planificación de proyectos*. *Revista de Proyectos*, 9(1), 60-78.

Wang, B., et al. (2020). *Enhancing the collection efficiency of a gas cyclone with atomization and electrostatic charging*. Consultada 19 de septiembre de 2024,
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.062>

Anexos

Anexo A Consentimiento informado para los participantes

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LOS PARTICIPANTES:

Formulación de un proyecto para el control de emisiones de material particulado en los hornos verticales para la producción de cal de la empresa Paz del Río, en Nobsa – Boyacá.

Investigador

Edwin Aroldo Zorro Bello

edwin.zorro@uniminuto.edu.co

310 3423270

Descripción de la investigación: El objetivo de esta investigación es evaluar las emisiones de material particulado generadas por los hornos verticales para la producción de cal de la empresa Paz del Río, y formular un proyecto para su control. Para ello, se realizará la recolección de información a través de un cuestionario estructurado y observaciones directas, involucrando a operadores y técnicos responsables del proceso.

1. Descripción de su participación: Como participante, se le pedirá que responda un cuestionario sobre sus experiencias y conocimientos en el manejo de los *hornos verticales para la producción de cal* y las emisiones de material particulado. También se realizarán observaciones durante sus actividades de trabajo, respetando su espacio y horario laboral.

1. Confidencialidad: *La información proporcionada se tratará con absoluta confidencialidad.* No se revelará ningún dato personal ni se asociarán sus respuestas con su identidad. Los resultados serán presentados de manera anónima y solo serán utilizados con fines académicos.

2. Voluntariedad: Su participación es completamente voluntaria. Usted tiene derecho a retirarse de la investigación en cualquier momento, sin consecuencias negativas. Si decide no participar, esto no afectará su relación laboral con la empresa Paz del Río.

2. Consentimiento: He leído y comprendido la descripción de la investigación y lo que implica mi participación. Acepto participar en este estudio de forma voluntaria y me reservo el derecho de retirarme en cualquier momento.

Nombre del participante: _____

Firma del participante: _____

Fecha: _____

Anexo B Autorización para la realización de la investigación

AUTORIZACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN



Nobsa, 20 de marzo de 2025

Señores (as)

Edwin Aroldo Zorro Bello,
Edna Margarita Rojas Maldonado
María Florenia Zapata Palacios
Corporación Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO
edwin.zorro@uniminuto.edu.co

De parte de:

Eduardo Franco Mora
Director Acería
Paz del Río
Eduardo.franco@pazdelrio.com.co
+57 320 3426852

Asunto: Autorización para la realización de investigación sobre el control de emisiones de material particulado en hornos verticales para producción de cal

A través de la presente, la empresa **Paz del Río** autoriza a los investigadores **Edwin Aroldo Zorro Bello, Edna Margarita Rojas Maldonado y María Florenia Zapata Palacios**, de la **Corporación Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO** a realizar la investigación titulada *"Formulación de un proyecto para el control de emisiones de material particulado en hornos verticales para producción de cal, en Nobsa – Boyacá"*. Esta autorización se otorga bajo las siguientes condiciones:

1. La investigación se llevará a cabo usando informaciones de los hornos para producción de cal de la empresa, y otras informaciones técnicas al respecto. (MANERA ASINCRONICA).
2. Toda la información recolectada será utilizada únicamente para fines académicos y se garantizará la confidencialidad de los datos.
3. Los investigadores deberán cumplir con las políticas de seguridad y salud en el trabajo, así como con las normas de seguridad industrial de la empresa durante el desarrollo de la investigación.

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA
CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

101



PazdelRio
ES COLOMBIA

Autorizo la realización de la investigación bajo los términos descritos:

Nombre del representante de la empresa: Eduardo Franco Mora

Firma del representante: 

Cargo: Director Acería

Fecha: 20 de marzo de 2025

Anexo C Codificación Numérica Lista de chequeo hornos de calcinación

	Marca temporal	Fecha de la Observación:	Condiciones de operación del Horno	Temperatura del Horno si es medible	Condiciones del material utilizado	¿Se están siguiendo las instrucciones?
1	3/18/2025 9:25:49	7/03/2025	1. Operativo pero con fallas visibles	1. Dentro del Rango	1. Material humedo	1. Si
2	3/18/2025 9:35:43	4/03/2025	2. Sucio	2. Fuera de rango	2. otro	1. Si
3	3/18/2025 9:52:49	3/03/2025	3. En mantenimiento	3. No disponible	3. Material con impurezas	1. Si
4	3/18/2025 9:58:36	4/03/2025	2. Sucio	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
5	3/18/2025 10:03:03	5/03/2025	2. Sucio	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
6	3/18/2025 10:11:12	4/03/2025	1. Operativo pero con fallas visibles	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
7	3/18/2025 10:17:57	5/03/2025	2. Sucio	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
8	3/18/2025 10:28:45	6/03/2025	1. Operativo pero con fallas visibles	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
9	3/18/2025 10:34:58	6/03/2025	2. Sucio	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si
10	3/18/2025 10:43:10	6/03/2025	2. Sucio	1. Dentro del Rango	4. Material seco	1. Si

	Frecuencia de mantenimiento preventivo...	Uso de equipos de protección personal p...	¿Se observan emisiones visibles durante...	Si la respuesta es "SI", describa las carac...	¿Hay polvo o material particulado visible
1	1. Regular semana/ mes	1. Otros	1. si a la atmosfera	1. material particulado (polvo)	1. si
2	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	2. Si material particulado (polvo)	2. Material al ambiente, no respirable	1. si
3	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	3. polvo disperso	1. si
4	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	3. Mucho polvo y material particulado	1. si
5	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	4. Emisión de partículas al ambiente (polvo)	1. si
6	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	5. Material particulado con presencia de po...	1. si
7	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	6. Mucho polvo y material particulado	1. si
8	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	6. Mucho polvo y material particulado	1. si
9	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	6. Mucho polvo y material particulado	1. si
10	1. Regular semana/ mes	2. Mascarilla	3. si	6. Mucho polvo y material particulado	1. si

	¿Hay polvo o material particulado visible ...	¿Se observan medidas para controlar las...	Condiciones de iluminación en el área d...	Condiciones de limpieza en el área de tr...	¿Se observa algún riesgo para la salud o
1	1. si	1. No	1. Adecuada	1. Limpia	1. No
2	1. si	2. No se observa	2. Inadecuada	2. Desordenada	2. No se puede determinar
3	1. si	1. No	1. Adecuada	3. Peligrosa	3. Si
4	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
5	1. si	1. No	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
6	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
7	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
8	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
9	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si
10	1. si	2. No se observa	1. Adecuada	2. Desordenada	3. Si

jasp 2* (D:\)

Analyses Synchronisation Resize Data Insert Remove Undo Redo

Y sa d...	Condiciones de limpieza en el área de tr...	¿Se observa algún riesgo para la salud o...	Describa de forma detallada riesgos o pe...	Sugerencias adicionales según crea pert...
1	1. Limpia	1. No	1. presencia de polución, ambiente pesado...	1. Se requiere que se implemente un siste...
2	2. Desordenada	2. No se puede determinar	2. material particulado (mucho polvo que n...	2. Se esta pidiendo que se monte un sistem...
3	3. Peligrosa	3. Si	3. polvo presente en el área	3. colocar un sistema capaz de captar el m...
4	2. Desordenada	3. Si	4. Por la emisión de polvo no se puede obs...	4. Pensar en el montaje de un sistema de fil...
5	2. Desordenada	3. Si	5. polución material pesado en el ambiente...	5. Crear y montar un sistema de captación ...
6	2. Desordenada	3. Si	6. Acumulación de material particulado (pol...	6. Que se instale un sistema que sea capaz...
7	2. Desordenada	3. Si	7. material particulado (mucho polvo que n...	6. Que se instale un sistema que sea capaz...
8	2. Desordenada	3. Si	8. presencia de polución, ambiente pesado...	1. Se requiere que se implemente un siste...
9	2. Desordenada	3. Si	9. material particulado (mucho polvo que n...	6. Que se instale un sistema que sea capaz...
10	2. Desordenada	3. Si	10. polución material pesado en el ambient...	6. Que se instale un sistema que sea capaz...

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

	Marca temporal	Nombre opcional	Antigüedad	correo	Dependencia	cargo	Años de experiencia en la
1	3/18/2025 11:45:31	N/A	1.Opción 1	edwin.zorro@pazdelrio.com.co	2. Calcinação	2. Operador control procesos	6-10
2	3/18/2025 13:29:44	N/A	1.Opción 1	Jorge.pineda@pazdelrio.com.co	2. Calcinação	2. Operador control proceso	6-10
3	3/18/2025 22:20:33	N/A	1.Opción 1	natalla.moscoso@pazdelrio.com.co	1. Calcinação	1. Ayudante de operación calcinação	3-6
4	3/19/2025 7:45:30	N/A	1.Opción 1	Juan.moreno@pazdelrio.com.co	2. Calcinação	Operador experto	6-10
5	3/20/2025 8:24:51	N/A	1.Opción 1	Luis.zambrano@pazdelrio.com.co	1. Calcinação	Operador experto	6-10
6	3/20/2025 8:53:35	N/A	1.Opción 1	dailo.pinzon@pazdelrio.com.co	3.calcinação	Operador experto	6-10
7	3/20/2025 9:42:11	N/A	1.Opción 1	Javier.camargo.jc1@pazdelrio.com.co	2. Calcinação	1. Ayudante de operación calcinação	6-10

	¿Está familiarizado con el concepto de m...	¿Qué tan importante considera el control ...	De 1 a 5 califfge siendo 1 mas bajo 5 m...	¿Usted considera que es buena opción c...	¿Ha recibido capacitación
1	SI	Es beneficioso para el proceso y para la sal...	5	Muy importante	SI
2	SI	Porque controla el aire y sus impurezas al ...	5	Muy importante	SI
3	SI	Proceso con el cual se puede contribuir co...	5	Muy importante	SI
4	SI	Es de mucho interés ya que se puede hace...	5	Muy importante	SI
5	SI	Es un sistema que puede limpiar el aire y h...	5	Muy importante	SI
6	SI	Es un control que se debe implementar lo ...	5	Muy importante	SI
7	SI	Porque controla la calidad del aire y sus im...	5	Muy importante	SI

	¿Con qué frecuencia se llevan a cabo m...	¿Qué tipo de equipos de protección pers...	En su experiencia, ¿ha notado un increm...	¿Qué medidas considera que deberían i...	¿Está dispuesto a partici...
1	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
2	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
3	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
4	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
5	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
6	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI
7	Semanalmente	Todas las anteriores	SI	Implementar tecnologías de control de emis...	SI

	¿Está dispuesto a participar en capacitac...	¿Tiene algún comentario adicional o sug...	V19	V20	V21	V22			
1	SI	Implementar el sistema de control de emisi...	-	-	-	-			
2	SI	Se debe implementar lo más pronto posible...	-	-	-	-			
3	SI	Se debe montar o poner en marcha un sist...	-	-	-	-			
4	SI	Si se implementa un sistema capaz de cont...	-	-	-	-			
5	SI	Implementar un sistema de control de emis...	-	-	-	-			
6	SI	Sería bueno que cuanto antes se haga un ...	-	-	-	-			
7	SI	Se requiere implementar un sistema capaz ...	-	-	-	-			

Anexo E Resultado de la lista de chequeo

Results

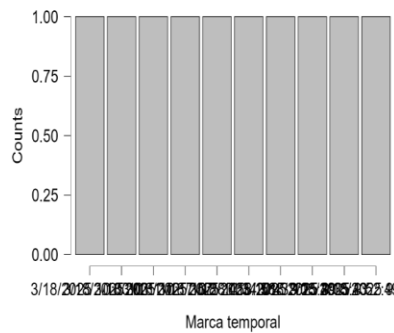
Descriptive Statistics

Descriptive Statistics

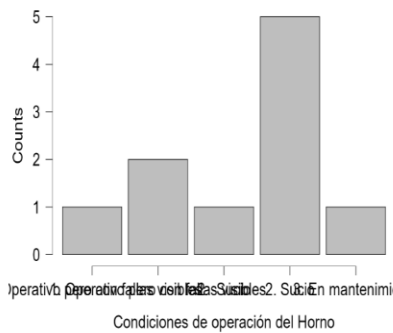
	Marca temporal	Condiciones de operación del Horno	Condiciones del material utilizado	Frecuencia de mantenimiento preventivo del horno:	¿Se observan emisiones visibles durante el funcionamiento del horno?	¿Hay polvo o material particulado visible en el ambiente alrededor del horno?	¿Se observan medidas para controlar las emisiones (por ejemplo, sistemas de filtración, ventilación, ¿etc.)?	Condiciones de limpieza en el área de trabajo:	Describe de forma detallada riesgos o peligros observados	Sugerencias adicionales según crea pertinente	Temperatura del Horno si es medible
Valid	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11
Missing	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
Mode	1.000	4.000	4.000	1.000	3.000	1.000	2.000	2.000	1.000	6.000	1.000

Distribution Plots

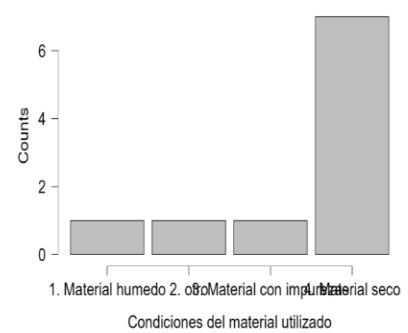
Marca temporal



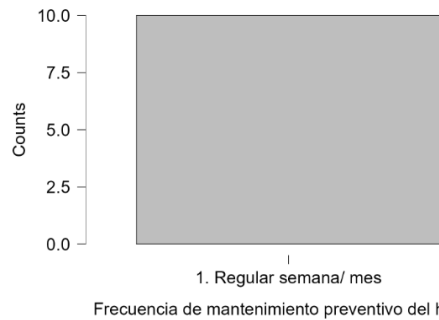
Condiciones de operación del Horno



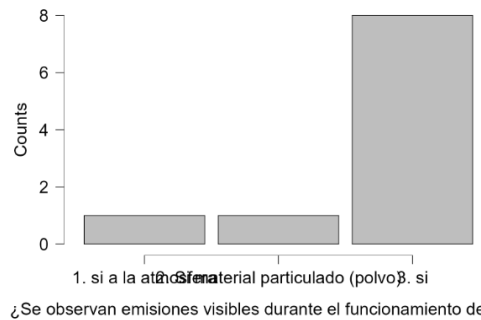
Condiciones del material utilizado



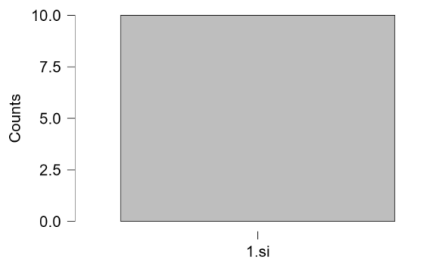
Frecuencia de mantenimiento preventivo del horno:



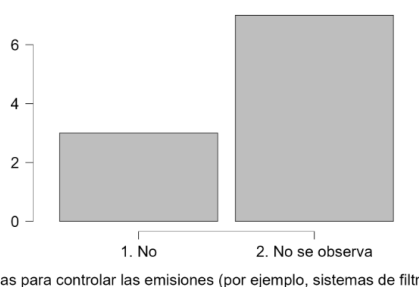
¿Se observan emisiones visibles durante el funcionamiento del horno?



¿Hay polvo o material particulado visible en el ambiente alrededor del horno?



¿Se observan medidas para controlar las emisiones (por ejemplo, sistemas de filtración, ventilación, ¿etc.)?

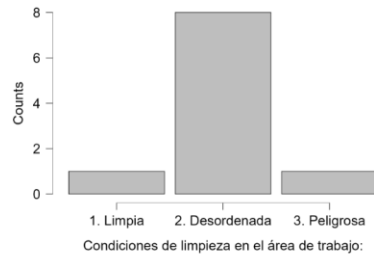


Hay polvo o material particulado visible en el ambiente alrededor

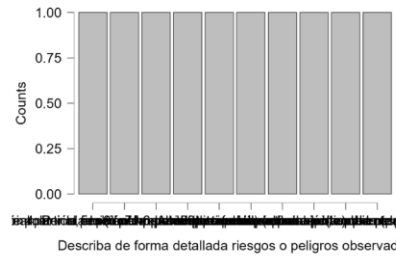
medidas para controlar las emisiones (por ejemplo, sistemas de filtración, ventilación, ¿etc.)?

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN PROCESO DE PIEDRA CALIZA ACERIAS PAZ DEL RIO COLOMBIA

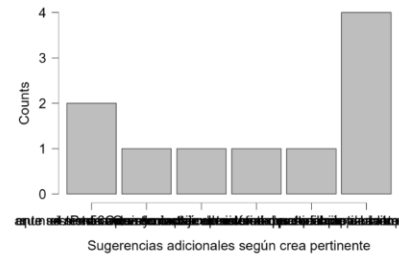
Condiciones de limpieza en el área de trabajo:



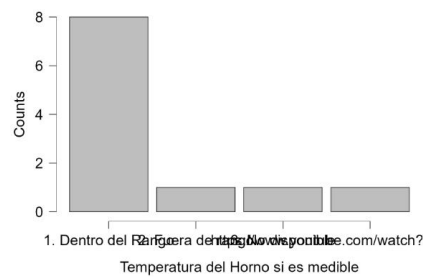
Describe de forma detallada riesgos o peligros observados



Sugerencias adicionales según crea pertinente



Temperatura del Horno si es medible



Descriptive Statistics

Descriptive Statistics

	Valid	Missing	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Marca temporal	10	4				
Condiciones de operación del Horno	10	4				
Condiciones del material utilizado	10	4				
Frecuencia de mantenimiento preventivo del horno:	10	4				
¿Se observan emisiones visibles durante el funcionamiento del horno?	10	4				
¿Hay polvo o material particulado visible en el ambiente alrededor del horno?	10	4				
¿Se observan medidas para controlar las emisiones (por ejemplo, sistemas de filtración, ventilación, ¿etc.)?	10	4				
Condiciones de limpieza en el área de trabajo:	10	4				
Describe de forma detallada riesgos o peligros observados	10	4				

Descriptive Statistics

Descriptive Statistics

	Valid	Missing	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Marca temporal	10	4				
Condiciones de operación del Horno	10	4				
Condiciones del material utilizado	10	4				
Frecuencia de mantenimiento preventivo del horno:	10	4				
¿Se observan emisiones visibles durante el funcionamiento del horno?	10	4				
¿Hay polvo o material particulado visible en el ambiente alrededor del horno?	10	4				
¿Se observan medidas para controlar las emisiones (por ejemplo, sistemas de filtración, ventilación, ¿etc.)?	10	4				
Condiciones de limpieza en el área de trabajo:	10	4				
Describe de forma detallada riesgos o peligros observados	10	4				
Sugerencias adicionales según crea pertinente	10	4				

Anexo F Resultado de la lista de emisiones

Results

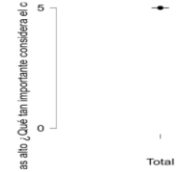
Descriptive Statistics

Descriptive Statistics

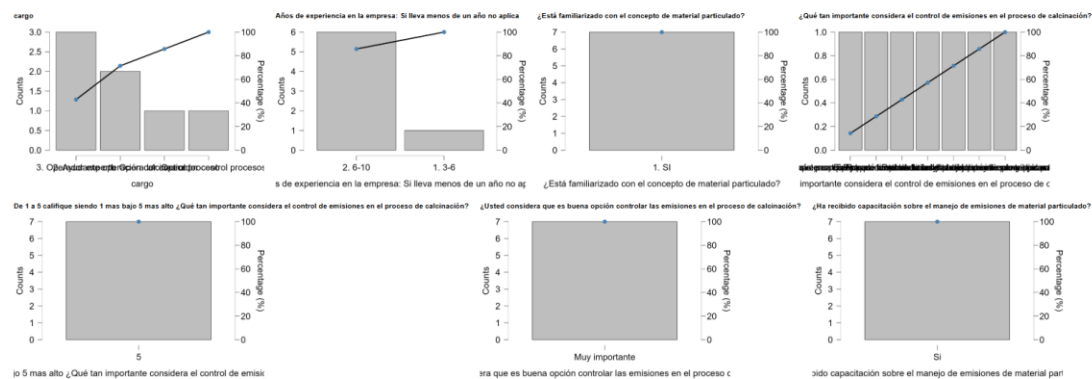
	Valid	Missing	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
cargo	7	0				
Años de experiencia en la empresa: Si lleva menos de un año no aplica	7	0				
¿Está familiarizado con el concepto de material particulado?	7	0				
¿Qué tan importante considera el control de emisiones en el proceso de calcinación?	7	0				
De 1 a 5 califique siendo 1 mas bajo 5 mas alto ¿Qué tan importante considera el control de emisiones en el proceso de calcinación?	7	0	5.000	0.000	5.000	5.000
¿Usted considera que es buena opción controlar las emisiones en el proceso de calcinación?	7	0				
¿Ha recibido capacitación sobre el manejo de emisiones de material particulado?	7	0				
¿Con qué frecuencia se llevan a cabo mantenimientos preventivos en los hornos?	7	0				
¿Qué tipo de equipos de protección personal utiliza durante la operación del horno? (puede seleccionar más de una opción)	7	0				
En su experiencia, ¿ha notado un incremento en las emisiones de material particulado en los hornos de calcinación?	7	0				
¿Qué medidas considera que deberían implementarse para mejorar el control de emisiones de material particulado? (puede seleccionar más de una opción)	7	0				
¿Está dispuesto a participar en capacitaciones o talleres sobre el control de emisiones?	7	0				
¿Tiene algún comentario adicional o sugerencia sobre el control de emisiones de material particulado en los hornos de calcinación?	7	0				

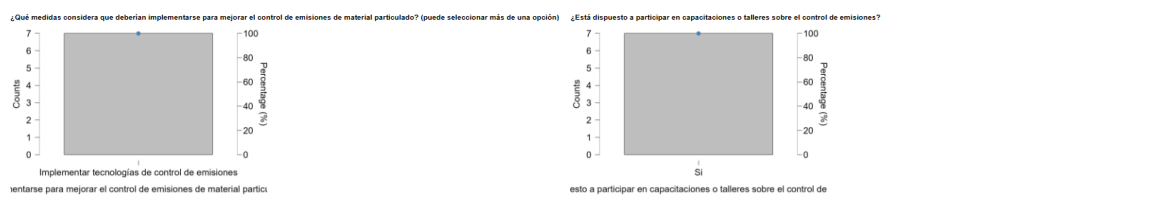
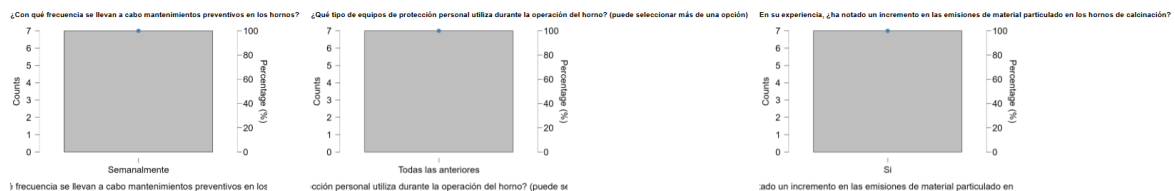
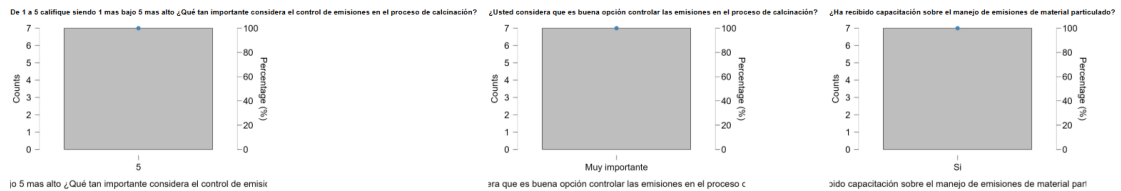
Interval plots

De 1 a 5 califique siendo 1 mas bajo 5 mas alto ¿Qué tan importante considera el control de emisiones en el proceso de calcinación?

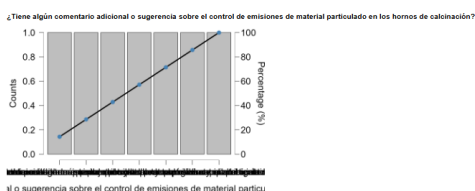
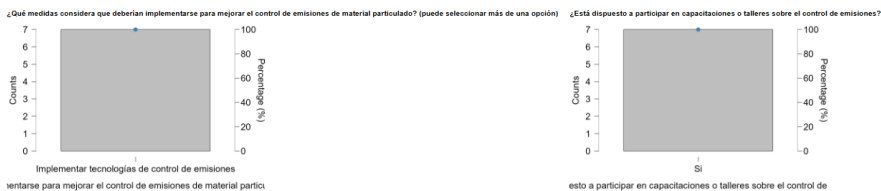


Pareto Plots





d



si o sugerencia sobre el control de emisiones de material particu