	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	31/08/2023
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) JOSE ANDRES APELLIDOS: CARRERO TOSCANO

FACULTAD: CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA AMBIENTAL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CRISTIAN FERNANDO APELLIDOS: CABARCAS BLANCO

TÍTULO DEL TRABAJO (PASANTIA): ELABORACIÓN DE PLAN DE MEJORA DE LAS EMISIONES FUGITIVAS DE MATERIAL PARTÍCULADO EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO EN PLANTA CEMEX LOS PATIOS

Una emisión fugitiva según el decreto 1075 del 2015 se define como “la emisión ocasional de un contaminante”, sin embargo, el asunto es más profundo porque al no tener un papel significativo es ignorado y no se crean controles para la disminución de las emisiones generadas en los procesos. Este tipo de emisiones de material particulado que principalmente está compuesto por polvillo de caliza, al no tener un sistema de control atmosférico definido, es desplazado por las corrientes de aire y se dispersan por el entorno de la planta y a sus afueras, afectando al ambiente y la salud de los colaboradores, como de las comunidades establecidas en cercanías de la fábrica.

PALABRAS CLAVES: (ESCRIBIR MÁXIMO 5)

EMISIONES – CLINKER- CEMENTO- FUGITIVAS- MANTENIMIENTO

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 65 PLANOS: NO CD ROOM: NO

ILUSTRACIONES: 28

**ELABORACIÓN DE PLAN DE MEJORA DE LAS EMISIONES FUGITIVAS DE
MATERIAL PARTÍCULADO EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO EN
PLANTA CEMEX LOS PATIOS.**

JOSÉ ANDRÉS CARRERO TOSCANO

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

CÚCUTA

2023

**ELABORACIÓN DE PLAN DE MEJORA DE LAS EMISIONES FUGITIVAS DE
MATERIAL PARTICULADO EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO EN
PLANTA CEMEX LOS PATIOS.**

JOSÉ ANDRÉS CARRERO TOSCANO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental -
Modalidad Pasantía**

Director:

ING. CRISTIAN FERNANDO CABARCAS BLANCO

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

CÚCUTA

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 28/08/2023

HORA: 8:00 A.M

LUGAR: Plan de Estudios de Ingeniería Ambiental

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO: ELABORACIÓN DE PLAN DE MEJORA DE LAS EMISIONES FUGITIVAS DE MATERIAL PARTICULADO EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO EN PLANTA CEMEX LOS PATIOS.

MODALIDAD: PASANTIA

JURADOS: WILHEM HERNANDO CAMARGO JÁUREGUI
YOHEN CUELLAR ALVAREZ
BLANCA CECILIA TORRES SOTELO

DIRECTOR: CRISTIAN FERNANDO CABARBAS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACIÓN
<u>JOSÉ ANDRÉS CARRERO TOSCANO</u>	<u>1651119</u>	<u>4.2</u>

OBSERVACIONES: APROBADO

FIRMA DE LOS JURADOS:

Wilhem H. Camargo Jáuregui - Yohen Cuellar Alvarez - Blanca C. Torres Sotelo
WILHEM H. CAMARGO JÁUREGUI YOHEN CUELLAR ALVAREZ BLANCA C. TORRES SOTELO

Vo.Bo. Coordinador Comité Curricular Dorance Becerra Moreno
DORANCE BECERRA MORENO

Contenido

Introducción	10
1. Descripción del problema	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Justificación del proyecto	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. General	13
1.3.2. Específicos	13
2. Estado del arte	14
2.1 Antecedentes	14
2.1.1 Antecedentes internacionales	14
2.1.2 Antecedentes nacionales	15
3. Metodología	16
4. Resultados	21
4.1. Caracterización del proceso de fabricación de cemento de la planta CEMEX Los Patios	21
4.2 Identificar fuentes de emisión fugitiva en las diferentes etapas de la fabricación del cemento en planta CEMEX Los Patios.	33

4.3	Describir sistemas de control atmosféricos existentes en la planta de CEMEX Los Patios	43
4.4	Formular el plan de mejora de emisiones fugitivas en las áreas de la planta de cemento de CEMEX Los Patios.	51
5.	Conclusiones	61
6.	Recomendaciones	62
7.	Bibliografía	63
	Anexos	

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología primer objetivo específico	17
Figura 2. Metodología segundo objetivo específico.	18
Figura 3. Metodología tercer objetivo específico.	19
Figura 4. Metodología cuarto objetivo.	20
Figura 5. Revisión documental	22
Figura 6. Recorrido general a la planta	23
Figura 7. Trituradora de la planta	24
Figura 8. Banda transportadora y acopio	24
Figura 9. Almacenamiento de caliza	25
Figura 10. Túnel dosificador	26
Figura 11. Banda 120 hacia crudo	27
Figura 12. Molino de crudo	27
Figura 13. Ciclones y precipitador	28
Figura 14. Horno rotatorio	29
Figura 15. Enfriador	29
Figura 16. Cadena Aumund	30
Figura 17. Dosificador aditivos	30
Figura 18. Molino de cemento	31
Figura 19. Empaque	32
Figura 20. Robot	32
Figura 21. Collage emisiones trituración	36
Figura 22. Emisiones Crudo	37

Figura 23. Emisiones aditivos	38
Figura 24.Emisiones cemento	39
Figura 25. Emisiones Empaque	40
Figura 26. Acopios planta Los Patios.	41
Figura 27. Dibujo electrofiltro	46
Figura 28. Dibujo filtro de mangas.	47

Lista de Tablas

Tabla 1. Intervenciones en los diferentes tipos de áreas 2022	33
Tabla 2. Revisión de formatos	34
Tabla 3. Resultados Formato Inspección de acopios	41
Tabla 4. Mantenimientos filtros	44
Tabla 5. Filtros revisados	45
Tabla 6. Resultados Formato Inspección de acopios.	47
Tabla 7. Agrupación desviaciones.	52

Introducción

La excelencia de una organización viene marcada por su capacidad de crecer en la mejora continua de todos y cada uno de los procesos que rigen su actividad diaria (ANECA, 2021). Por ende, es de suma importancia estar en constante revisión de todos los procesos que se llevan dentro de una compañía, para así poder observar y analizar desviaciones que producen las ineficiencias de los sistemas, como también para tomar decisiones oportunas frente a los procesos que se llevan dentro de la organización. Un plan de mejora permite realizar un diagnóstico base para reconocer los factores que afectan los procesos, así como para entender las principales causas del problema y seleccionar acciones de mejora, planearlas para soluciones futuras a los problemas que se presenten. (ANECA, 2021)

La fabricación del cemento se caracteriza por producir altas emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, especialmente por la des carbonatación de la caliza, por tanto, se les destina recursos económicos para el control atmosférico de las emisiones de fuentes fijas. No obstante, hay un tipo de emisión que no se tiene en planes para el destino de los recursos o controles atmosféricos, y son las emisiones fugitivas en los procesos de la fabricación del cemento, en general.

Una emisión fugitiva según el decreto 1075 del 2015 se define como “la emisión ocasional de un contaminante”, sin embargo, el asunto es más profundo porque al no tener un papel significativo es ignorado y no se crean controles para la disminución de las emisiones generadas en los procesos. Este tipo de emisiones de material particulado que principalmente está compuesto por polvillo de caliza, al no tener un sistema de control atmosférico definido, es desplazado por las corrientes de aire y se dispersan por el entorno de la planta y a sus afueras, afectando al

ambiente y la salud de los colaboradores, como de las comunidades establecidas en cercanías de la fábrica.

Según la (EPA (Environmental Protection Agency, 2022)) , (En Español, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos); las enfermedades respiratorias y cardiovasculares están ligadas al nivel de exposición que tiene la persona con el material particulado (MP), de igual manera en el ambiente. El MP tiene repercusiones dependiendo de la composición de las partículas como; afectaciones a la flora y fauna presente en el área, cambios en el balance nutricional de las cuencas fluviales, y daño paisajístico. (Lillis & Young, 1975). Por consiguiente, el tener una herramienta que permita conocer la situación actual de la planta frente a esta problemática es fundamental para la corrección de estas desviaciones que representan la pérdida de material utilizado en los procesos, riesgos asociados a enfermedades respiratorias, y afectaciones al componente ambiental.

1. Descripción del problema

1.1.Planteamiento del problema

La industria cementera se caracteriza por sus altas emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (principalmente CO₂ , CH₄ , NO₂) y también de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), las cuales tienen efectos directos sobre el componente aire, debido a la combustión que se realiza dentro del horno para la producción de Clinker. (Abdul-Wahab, 2006). Por consiguiente, se realizan monitoreos constantes a la fuente de emisión, no solo para cumplir con la legislación de emisiones de fuentes fijas sino también para satisfacer las estrategias de sustentabilidad de la empresa. En el caso particular de la planta sería la chimenea del electrofiltro, dando como resultados datos en tiempo real del estado de las emisiones del horno, que ayudan al seguimiento

de las variables por medio de un sistema de monitoreo continuo de emisiones CEMS (*Control Emission Monitoring System*, en Inglés).

No obstante, se puede percibir que la información de las demás emisiones que se producen en planta es deficiente, ya sea en las chimeneas de los filtros de mangas ubicados en los puntos de producción o en las demás áreas de la fábrica, donde las emisiones de material particulado son claramente visibles, las cuales no ocurren a través de un ducto o chimenea. Así mismo la cantidad de emisiones fugitivas que presentan los equipos industriales durante su operación es desconocida.

A pesar de que el decreto 1075 del 2015, define a la emisión fugitiva como “la emisión ocasional de un contaminante”, se debe enfatizar en la problemática que representan estas emisiones en materia ambiental y económica para las empresas, ya que, al no tener en conocimiento este tipo de emisión, no se realizan caracterizaciones que puedan indicar la composición de la emisión, y tampoco la cuantificación de pérdidas de material por causa de emisiones fugitivas, no proyectadas en los equipos industriales, acopios de almacenamiento de materias primas, y demás áreas.

1.2. Justificación del proyecto

Las emisiones fugitivas, especialmente en áreas de trabajo donde están instalados equipos industriales, demuestra que existen desviaciones en los procesos que se realizan en planta. Las áreas deben estar en completo orden y sin presencia de emisión de material proveniente de la emisión fugitiva, que, dependiendo del área, puede ser representada como pérdida de material, así como en términos económicos. Adicionalmente, exhibe la existencia de fallas en los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan a los equipos, y, principalmente, puede producir afectaciones a la salud al personal que labore o manipule equipos en las áreas donde se presenta la desviación. Los procesos en planta deben cumplir con los mayores estándares de

calidad, consecuentemente la pérdida de materia prima, y los costos aparte de los proyectados, ostenta que existen desviaciones en las actividades que se ejecutan.

Este proyecto servirá como una carta o herramienta, para poder conocer de manera directa qué son y cómo funcionan los sistemas de control atmosféricos que están establecidos en planta, y particularmente, permitirá reconocer los procesos de fabricación de cemento, desde la entrada de las materias primas hasta el empaque de este. Dando, como resultado un plan de mejora dirigido a la solución de desviaciones presentes en los equipos, como también en las instalaciones generales de planta, desde los cuartos de almacenamiento de la materia prima, las vías de acceso y equipos industriales, para la corrección de las emisiones fugitivas, que principalmente se compone de material particulado (Mancilla, 2008). Esto es orientado al cumplimiento de los compromisos ambientales, establecidos en la política ambiental que tiene la compañía en concordancia con los estudios de emisiones, y al cumplimiento de los estándares de calidad en los procesos de fabricación de cemento y Clinker de Cemex.

1.3.Objetivos

1.3.1. General

Elaborar plan de mejora de las emisiones fugitivas de material particulado presentes en la línea de producción de cemento de la planta CEMEX Los Patios.

1.3.2. Específicos

Caracterizar el proceso de fabricación de cemento de la planta CEMEX Los Patios.

Identificar fuentes de emisión fugitiva en las diferentes etapas de la fabricación del cemento en planta CEMEX Los Patios.

Describir sistemas de control atmosféricos existentes en la planta de CEMEX Los patios.

2. Estado del arte

2.1 Antecedentes

Esta sección presenta antecedentes sobre las emisiones fugitivas, disponibles en la literatura en un internacional y nacional.

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Mancilla (2008) concluye que las emisiones fugitivas presentes en las plantas de cemento y concretos especialmente es conformada por material particulado, y que la erosión eólica en sectores con poca presencia de vegetación es un factor determinante para la producción de dichas emisiones. Muchas variables pueden estar en participación, sin embargo, la manera en cómo están distribuidas las áreas, son un punto de referencia de emisión. Por ejemplo, las rutas de transporte vehicular que no están asfaltadas son una fuente considerable de resuspensión de material particulado (Mancilla, 2008).

Santacatalina et al (2010) menciona que, en la producción de cemento y materiales cerámicos en España, es frecuente que existan emisiones fugitivas en los procesos de producción, y describe cada tipo de control atmosférico presente en la región, y el porcentaje de eficiencia. Hace hincapié en la importancia de tener barreras o muros en los almacenamientos de materias primas, asimismo ocurre con las vías de acceso, indicando que la pavimentación parcial de sectores, se puede obtener porcentajes de eficiencia del 90%.

Castillo Diaz (2020) explica que las emisiones de material particulado fundamentalmente son generadas por las diferentes áreas de la fabricación del cemento, desde la trituración de la materia prima general que es la caliza, hasta su clinkerización que sería la calcinación del mineral previamente triturado, así como procesos de molienda del cemento donde se pueden observar emisiones no habituales, que las define como emisiones fugitivas. No obstante, este tipo de

desviaciones dependen de las adecuaciones del área y de los tipos de control que se utilicen en los sitios.

Finalmente, referente a las emisiones fugitivas en la búsqueda de literatura realizada se evidencia que la información existente no es directamente enfocada en el establecimiento de un plan de mejora en planta, sino que es empleada como fuente de apoyo a problemáticas de calidad de aire, contaminación por emisiones y salud.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Las emisiones de material particulado (MP) están presentes en las actividades, industriales. En el caso de la contaminación por parte del MP en la industria del cemento, Ospina (2008), indica que estas, pueden ser centralizadas a una fuente de emisión fija, como serían las chimeneas principales, ya que la cuantificación de, esta es más ‘sencilla’. No obstante, también menciona que hay un tipo de fuente muy importante, que resulta ‘imposible’ de cuantificar. El autor se refiere a las emisiones fugitivas de polvo, ya que estas pueden encontrarse, desde una pila de arena donde por acción del viento, las partículas se suspenden en el aire, como también en la fuga de material hacia la atmósfera por parte de los ductos de transporte de harina.

Particularmente, Ospina (2008) enfoca su atención en la importancia de tener pavimentadas las vías de acceso a la planta, puesto que los vehículos transportadores al transitar en vías sin pavimentar, por acción del movimiento de las llantas, suspende material particulado que se encuentra alojado en el suelo, generando así una nube espesa de polvo que puede afectar directamente al personal que entra en contacto con las vías, como en materia de seguridad, al disminuir la visibilidad a los conductores. A diferencia de tener las vías de acceso pavimentadas y en buen estado, la generación de partículas en suspensión disminuye, y esta es

ocasionada por la acción del movimiento y el freno del vehículo transportador, y la acción del viento.

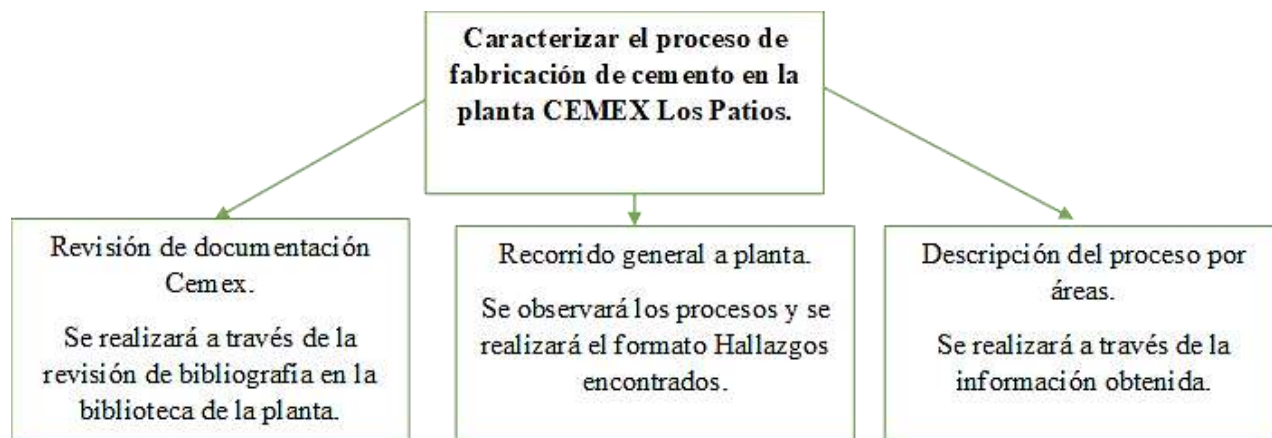
3. Metodología

A continuación, se describe la metodología planteada para la ejecución de cada uno de los objetivos propuestos en el documento, así como los pasos necesarios para realizar el levantamiento de información visual y la descripción de los procesos en planta, y demás información.

Objetivo 1: Caracterizar el proceso de fabricación de cemento de la planta CEMEX Los Patios.

Para dar cumplimiento al objetivo, se realizará revisión bibliográfica de la documentación que la empresa CEMEX posee en sus bibliotecas físicas y archivo digital, que se encuentran en el sistema de gestión Ambiental, además se realizará recorridos de inspección a la planta donde se observará el proceso de fabricación y se procederá a llenar el formulario “Hallazgos encontrados”(ver anexo A), materializando de esta manera toda la información y finalmente hacer una descripción de la línea de producción del cemento en la planta Cemex del municipio de Los Patios. Lo anterior se esquematiza en la figura 1.

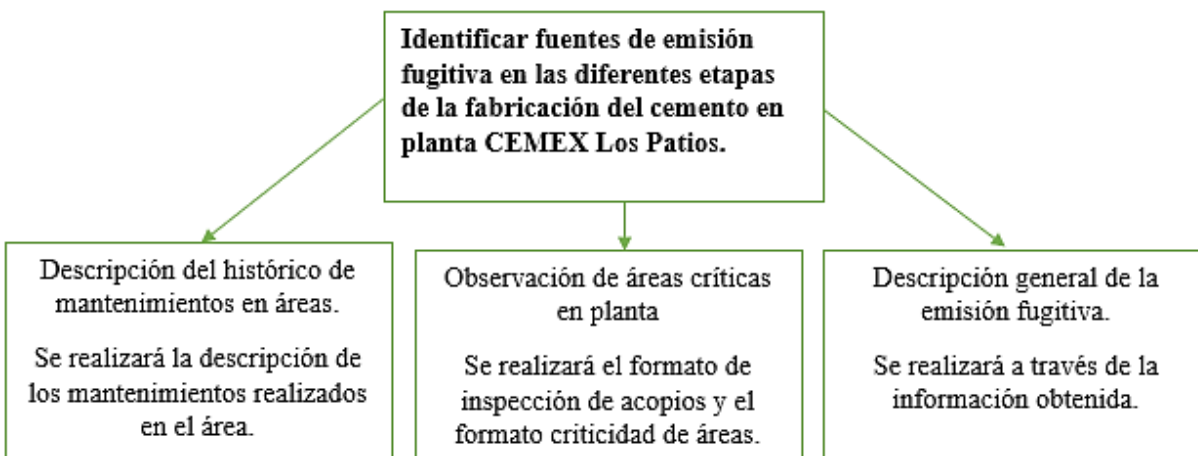
Figura 1. Metodología primer objetivo específico



Objetivo 2: Identificar fuentes de emisión fugitiva en las diferentes etapas de la fabricación del cemento en planta CEMEX Los Patios.

Para dar cumplimiento al objetivo se realizará una observación detallada a los equipos que mediante el recorrido general se han identificado que presentan emisión fugitiva de material particulado, y se procederá a revisar la información que se tenga del equipo, y su histórico de mantenimientos mecánicos, de igual importancia para las áreas de criticidad de la planta donde no hay presencia de equipos industriales, pero existe la emisión fugitiva, se rellenará el formato "Inspección de Acopios" y se realizará el formato "criticidad de áreas" (ver anexo B), finalmente se procederá a la descripción de la emisión del equipo o del área para su cuantificación. (Ver figura 2).

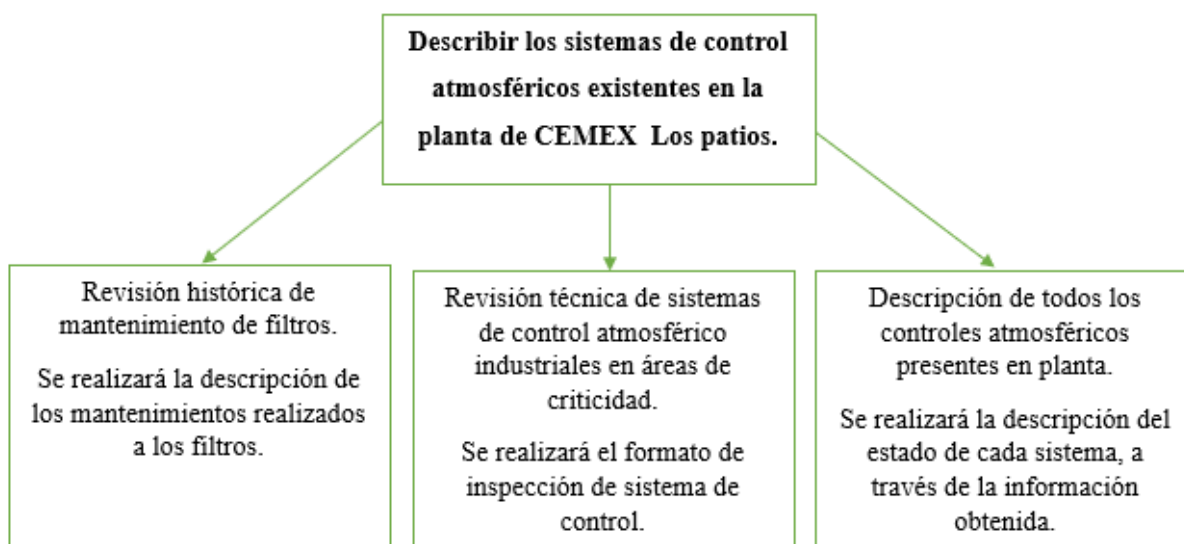
Figura 2. Metodología segundo objetivo específico.



Objetivo 3: Describir los sistemas de control atmosféricos existentes en la planta de CEMEX Los patios.

Para dar cumplimiento al objetivo se realizará una revisión general de todos los sistemas de control atmosférico que existan en planta, haciendo revisión a su histórico de mantenimientos, luego se procederá a llenar la lista del chequeo técnico del estado actual de los sistemas de control atmosféricos industriales existente en los formatos de la compañía (ver anexo C), para finalizar con la descripción en el documento del funcionamiento y estado de los sistemas de control. (Ver figura 3: Objetivo 3).

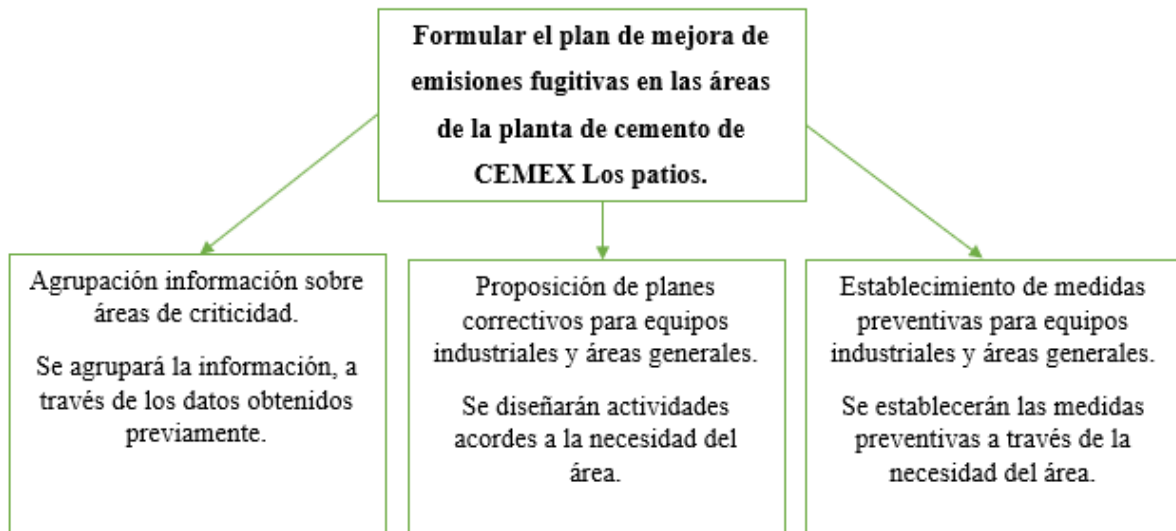
Figura 3. Metodología tercer objetivo específico.



Objetivo 4: Formular el plan de mejora de emisiones fugitivas en las áreas de la planta de cemento de CEMEX Los patios.

Para dar cumplimiento a este objetivo se agrupará la información recolectada en las inspecciones realizadas, se propondrá los planes correctivos y las medidas preventivas a las áreas o puntos críticos junto con los equipos industriales que presentan mayor presencia de emisiones fugitivas. (Ver figura 4).

Figura 4. Metodología cuarto objetivo.



4. Resultados

4.1. Caracterización del proceso de fabricación de cemento de la planta CEMEX Los Patios

A continuación, se desarrollan las actividades propuestas para el primer objetivo, se inicia con la revisión de la bibliografía, después, se realiza el primer recorrido para levantar información relevante a través del formato “Hallazgos”, y finalmente se describe el proceso de fabricación del cemento en planta Los Patios.

Revisión de documentación CEMEX.

Se realiza revisión de la bibliografía de 20 documentos, que están la biblioteca de la planta (Ver anexo A), también se busca contenido de importancia dentro de los distintos planes de contingencia que se albergan dentro de los sistemas de gestión ambiental, tanto los sistemas de calidad (Ver figura 5). De igual manera, se revisan los distintos informes de estado de emisiones (IE-1), presentados a la autoridad ambiental, para la renovación de permisos de emisión atmosférica. No obstante, la información que se encuentra no es relevante, ya que no es actualizada, al proceso que se realiza en la planta. En consecuencia, se procede a realizar lectura científica acompañada de información proporcionada por el personal administrativo de planta como apoyo a la descripción del proceso.

Figura 5. Revisión documental



Nota: A. Estudio de emisiones, B. Modelo de dispersión, C. Estudio de emisión, D. Estudio Calidad del aire, E. Revisión en biblioteca

Recorrido general a planta

Para el desarrollo de esta actividad, se realizaron recorridos gerenciales para el reconocimiento del proceso de fabricación del cemento en planta Los Patios, así mismo se inspeccionaban las áreas, para el levantamiento de información acerca de los procedimientos en operación. Al finalizar los recorridos se rellenó el formato “Hallazgos”, los formatos serán

encontrados en el anexo A. La figura 6 muestra los recorridos por las áreas de trituradora, enfriador, dosificadores, silo de carbón, horno y crudo.

Figura 6. Recorrido general a la planta



Nota: A. Sendero a trituradora, B. Enfriador, C. Dosificador, D. Silo de Carbón, E. Horno, F. Crudo.

Proceso de fabricación del cemento en planta Cemex Los Patios.

Trituración

Para el proceso de producción de cemento y Clinker en planta Los Patios, primero se debe realizar una disminución del tamaño de la materia prima que entra a la planta, esta materia prima es la caliza, que es extraída en minas cercanas. La planta posee una trituradora de barras, que

disminuye el tamaño de las rocas que ingresan a la tolva de alimentación., estas deben tener unas medidas adecuadas, dado que pasan por un tamiz industrial, que asegura que las rocas que tengan sobre tamaños no sigan el proceso. En la figura 7 se muestra la trituradora empleada en la planta.

Figura 7. Trituradora de la planta



Las rocas que tienen el tamaño adecuado son depositadas en una banda transportadora (Ver figura 8), que directamente, lleva la caliza triturada a un acopio de materia prima, las rocas que no cumplen con los tamaños ideales son recirculadas a través de una banda, que las ingresa de nuevo a la tolva de alimentación para obtener tamaños estándar.

Figura 8. Banda transportadora y acopio



Pre homogenización y acopio

Después que la caliza es triturada y puesta en una banda transportadora, se realiza el proceso de homogenización, que por acción de un tren dosificador, se extiende el material por el área del acopio, así, disminuyendo su variabilidad en temas de componentes químicos. (ASOCEM, 2016). La materia prima es almacenada y a la espera de la dosificación para la continuidad del proceso. La figura 9 muestra el almacenamiento de caliza triturada.

Figura 9. Almacenamiento de caliza



Dosificación de aditivos y transporte hacia crudo

La dosificación se realiza en un túnel ubicado debajo de del acopio de caliza, un dosificador en forma de pulpo, extiende sus brazos metálicos para traer el material que se encuentra arriba del acopio, y este se desprende hacia una banda transportadora que lo dirige hacia la banda principal 03-105, donde en consecuente se dosifican materias primas como (Chamote y Calamina), por medio de unas tolvas dosificadoras, hacia una banda principal que en planta se conoce como banda 120 que lleva el materia hacia la entrada del molino de crudo. La figura 10 presenta el túnel dosificador, mientas que la figura 11 muestra la banda 120.

Figura 10. Túnel dosificador



Figura 11. Banda 120 hacia crudo



Molienda de crudo

El material que es transportado por la banda 120, es ingresado a la alimentación del molino de crudo (Ver figura 12). Este es un molino de forma cilíndrica que dentro posee unos cuerpos moledores, encargados de pulverizar las materias primas que ingresan en su alimentación. Dando como resultado un polvo blanco, conocido como “harina”, este material es compuesto de Caliza, Chamote y Calamina. Posteriormente es dosificada homogéneamente en silos alma, para así disminuir la variabilidad en los componentes de la harina.

Figura 12. Molino de crudo



Pre calentamiento

Cuando la materia prima está en estado de polvo, pre homogenizada y almacenada en silos, y con las características químicas y de calidad deseada, se realiza el proceso de preparación, para la clinkerización de la harina en horno rotatorio. La planta posee una torre precalentadora, que se encarga de aumentar la temperatura de la harina aproximadamente a unos 700°C, así preparando la alimentación hacia el horno, los polvos finos entran a la alimentación, mientras la harina gruesa, es recirculada por acción de ciclones, en búsqueda el tamaño idóneo. La figura 13 muestra la torre precalentadora y la chimenea del horno.

Figura 13. Ciclones y precipitador



Clinkerización en horno rotatorio

La planta tiene un horno marca Allis Chalmers, con una longitud de 100 metros (Ver figura 14). Este se encarga del proceso más significativo de la fabricación del cemento. El de la clinkerización, que es la transformación de la materia prima, convertida en harina, en gránulos conocidos como Clinker, la harina debe calentarse a una temperatura que oscila entre los 1300 a los 1500 grados centígrados, para que se pueda descarbonizar los componentes químicos de la caliza, y dar como resultado esas geometrías. (Esther & Condezo, 2017).

Figura 14. Horno rotatorio



Enfriamiento

El proceso del enfriamiento consiste en disminuir la temperatura del Clinker, se estima que la salida es de 1600 °C, por ello es importante realizar un choque térmico, al disminuir su temperatura rápidamente, el Clinker gana resistencia, que es indispensable para los procesos de calidad del cemento que se manejan en planta. Cuando se logra la disminución de la temperatura, los gránulos son depositados en una tolva de descarga a una cadena Aumund, esta se encarga de transportar el Clinker hasta el silo principal que tiene una capacidad de 2000 toneladas. La figura 15 muestra el enfriador y la figura 16 muestra la cadena transportadora Aumund.

Figura 15. Enfriador



Figura 16. Cadena Aumund



Dosificación

La dosificación es una parte fundamental para la fabricación del cemento, esta dirige las cantidades de aditivos que deben ir para cada producción, La planta tiene 4 silos dosificadores, el primero es de Clinker que tiene una capacidad máxima de 2000 t, los demás silos son yeso, aditivo, y arenisca, estos con un almacenamiento máximo de 400 t. Esta área contiene unos equipos encargados de dosificar el material necesario, que llegara a la molienda de cemento a través de una banda transportadora principal.

Figura 17. Dosificador aditivos



Molienda de cemento

La molienda de cemento es el proceso donde participan los cuerpos molidores que se albergan dentro de un molino en forma cilíndrica, estos se encargan de pulverizar los gránulos de Clinker, y los aditivos como yeso, arenisca dosificados en la banda transportadora. Dependiendo del tipo de cemento a producir, la fórmula cambia, cuando se realiza cemento Art (Alta resistencia), a este cemento se le adiciona más Clinker para que obtenga valores más altos en resistencia, en cambio sí se busca producir cemento Ug (Uso general), se dosifica valores normales de Clinker, ya que es un cemento que no es utilizado en construcciones que necesiten alta resistencia. (Ver figura 18, molino de cemento).

Figura 18. Molino de cemento



Empaque

En esta área se termina el proceso de fabricación del cemento, la planta posee 2 empacadoras, cada una tiene una capacidad de empaque de 50 t/h, se tiene un sistema de despacho de granel el cual vierte cemento dentro de vehículos mezcladores (*Mixer*). El funcionamiento y

orden de esta área es fundamental porque es la encargada de envasar el cemento producido, revisar el estado de calidad de los empaques donde se envasará el cemento, y finalmente dar cumplimiento a las necesidades de los proveedores. En la figura 19 se observa la empacadora 065 y en la figura 20 se observa el robot de empaque.

Figura 19. Empaque



Figura 20. Robot



4.2 Identificar fuentes de emisión fugitiva en las diferentes etapas de la fabricación del cemento en planta CEMEX Los Patios.

Para el desarrollo del objetivo 2, se realizaron las actividades propuestas en la metodología, se realiza la revisión de mantenimientos 2022, se construye y se rellenan los formatos “Inspección de acopios” y “Áreas críticas”, y se finaliza realizando la descripción de las emisiones en el área.

Observación de equipos industriales

El desarrollo de la primera actividad se inició buscando los códigos de las áreas en SAP, estos, se ingresaron en la plataforma como centro de costos, donde se buscó el historial de mantenimiento mecánico de las áreas, se transformó en archivo Excel, se filtró por los mantenimientos mecánicos completados (Iexc Clos).

Se revisaron las indicaciones de cada mantenimiento, para examinar que la información obtenida, sea enfocada a los equipos, y no al estado del área. En consecuente, se realiza la suma de las intervenciones que ha tenido el área seleccionada, el resultado demuestra el nivel de flujo de mantenimientos en los equipos industriales. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Intervenciones en los diferentes tipos de áreas 2022

Área	Código del Área	Intervenciones
Trituradora	60149	41
Crudo	1253003431	179
Horno	1253003540	371
Aditivos	1253003600	22
Cemento	1253003631	277
Empaque	1253003710	232

Observación de áreas críticas en la planta

Para desarrollar este objetivo, se realizó y se rellenó el formato criticidad de áreas e inspección de acopios, para obtener información sobre el estado actual de las áreas y de los almacenamientos. (Ver anexo B).

Tabla 2. Revisión de formatos

Formato	Descripción
	Se realizaron 7 formatos, para evaluar el estado de los acopios de la planta, en búsqueda de información. Se inspeccionaron los siguientes acopios:
Inspección de Acopios	<ul style="list-style-type: none"> Acopio de Chamote Acopio de Calamina Acopio de Yeso Acopio de caliza triturada Acopio de Carbón Acopio de Clinker Patio de alternos
Criticidad de áreas	<p>Se inspeccionaron 6 de áreas, los formatos contaron con la participación del personal de la operación. Se revisaron las áreas de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Trituradora Crudo Horno Dosificadores de aditivos Cemento Empaque

Descripción de las emisiones fugitivas

Para lograr la solución, de esta actividad, se revisaron los productos de las actividades estipuladas para desarrollar el objetivo 2, se tuvo en cuenta principalmente cada emisión reportada, en el formato, “áreas críticas” y el formato “Inspección de acopios”, y el históricos de

mantenimientos en cada área. Dando como resultado un listado de emisiones presentes en las diferentes áreas, de la planta.

Emisiones trituración.

El área de trituración, evidencia emisiones fugitivas, las cuales han sido registradas en los formatos aplicados, no obstante, el incumplimiento de los estándares de orden y aseo de Cemex, y la revisión al histórico de mantenimientos, dan argumento que los mantenimientos realizados al equipo no son fructíferos, puesto que, los mantenimientos realizados para el área de trituración son 41(Ver tabla 1), son limitados a comparación de otras áreas, por ende, su estado en emisiones fugitivas. (Ver figura 21).

Las siguientes desviaciones corresponden al área de trituración:

- A. Rejilla de inspección abierta, sin guarda.
- B. Magas de la tolva de descarga rotas, deben estar cerradas.
- C. Banda 110, sin guarda protectora.
- D. Se evidencian fisuras en el cuerpo de la criba
- E. Resbaladera del rotor de la trituradora presenta fuga.
- F. Se observa emisión, y pilas de material por el área.

Figura 21. Collage emisiones trituración



Nota: A. Rejilla de inspección, B. Manga de descarga, C. Criba, D. banda 110, E. Trituradora, F. Pilas de material.

Emisiones Crudo

Crudo es una zona estratégica para la producción de cemento, ya que se inicia a pulverizar la materia prima para ser convertida en harina, en consecuencia, es un área que está expuesta a presentarse emisiones fugitivas, ya sea en las bandas de transporte, tanto en los ductos de gas. Para crudo, se han realizado un total 179 intervenciones, las cuales van enfocadas al mantenimiento del molino de crudo, tanto al precipitador.

Sin embargo, se evidencia que los ductos de gases tienen entradas de aires falsos, como también fugas, por donde el material se dispersa hacia perímetro, esto se evidencia en las siguientes imágenes. (Ver figura 22).

- A. Presencia de material en el suelo, por atasques en el aerodeslizador hacia la alimentación del horno

- B. Ataque constante en el Redler del precipitador, generando pilas de harina en el suelo
- C. Diferentes fisuras en ductos transportadores de gases hacia el precipitador.

Figura 22. Emisiones Crudo



Nota: A. Pila de material en el aerodeslizador, B. Pila de material en el Redler, C. Emisiones fugitivas en ductos de gases crudo.

Emisiones Horno

Se realizó revisión al estado del horno, donde no se encontró ninguna desviación por parte de emisiones fugitivas, no obstante, a través de los formatos y recorridos, se puede apreciar que tiene fallas en los sistemas de lubricación, generando así, derrames por los senderos, y que sus sistemas de contención como los diques, se vean rebasados por la acumulación del lubricante.

Emisiones Aditivos

El área de aditivos es la encargada de dosificar agregados, por ende, es un área susceptible para la manifestación de emisiones fugitivas en los equipos, se evidencio que, para esta área, existen inconvenientes, respecto a las emisiones que genera el transporte de aditivos por la banda. También, al revisar el histórico de mantenimientos, se observa que esta área es la más baja en intervenciones. (Ver figura 23).

Las siguientes emisiones pertenecen al área de aditivos:

- A. La banda 034 no cuentan con guardas que recubren el material
- B. Hay rodillos estáticos, generando desbalance en el flujo de transporte.
- C. Se encuentra pilas de material de bajo de las bandas

Figura 23. Emisiones aditivos



Nota: A. Banda 034, B. Banda 034 parte superior sin guarda, C. Pilas de aditivos en dosificadores

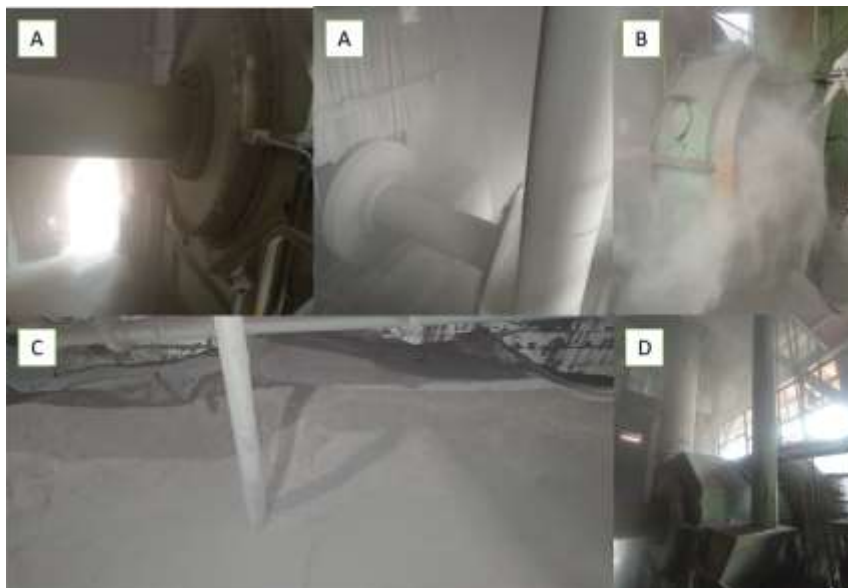
Emisiones Cemento

El área de molienda de cemento es un área crítica, ya que presenta un histórico de 277 intervenciones, esto debido a que la mayoría de sus ductos, equipos y espacios, tienen presencia de material, es un área que por su equipo principal, el molino de cemento, tiende a almacenar el producto en el área, sumado a las fallas en sus equipos, y la presencia de pilas de material, es considerada un área crítica. (Ver figura 24).

Las siguientes emisiones pertenecen al área de Cemento:

- A. Emisión fugitiva del rotor del molino
- B. Emisiones fugitivas por en la descarga del molino
- C. Desalineamiento de la banda 0534, perteneciente en la alimentación
- D. Fallas en el filtro de molino

Figura 24.Emisiones cemento



Nota: A. Rotor del molino de cemento, B. Descarga del molino, C. Banda 0534, D ventilador filtro de molino de cemento.

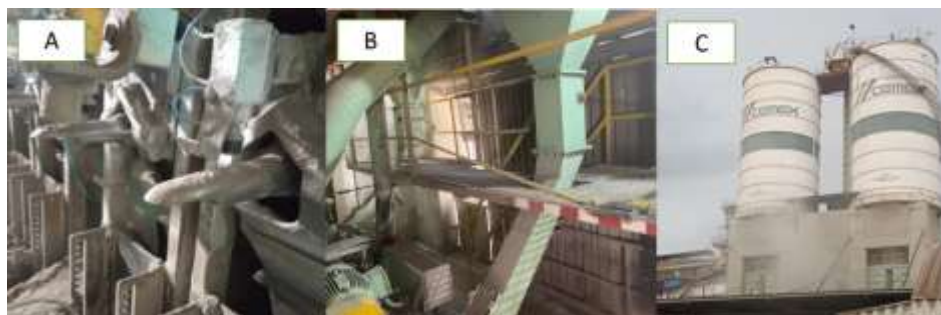
Emisiones Empaque

Las emisiones fugitivas localizadas en el área de, empaque fueron demostradas, a través de los diferentes formatos, también se evidenció que existen desviaciones en los estándares de orden y aseo, ya que el área se encuentra con presencia de material, en consecuencia las intervenciones de, mantenimiento fueron altas, demostrando que no se efectúan de manera correcta las actividades de mantenimiento del área mecánica. (Ver figura 25).

Los principales hallazgos fueron:

- A. En los arranques de la empacadora hay emisión fugitiva en el área de trabajo
- B. Los sensores de llenado de las tolvas fallan, hacen que se vierta el material al suelo, varias veces a la semana
- C. Desde la periferia se observa emisiones fugitivas de material.

Figura 25. Emisiones Empaque



Nota: A. Boquillas empacadora 014, B. Tolva de descarga, C. Silos de cemento.

Resultados Formato Inspección de acopios

Se realizó un análisis de la información obtenida del formato, “Inspección de acopios”, en el cual se pudo observar las falencias que tiene la planta para el control de emisiones fugitivas en los

acopios (Ver tabla 3), en consecuente, se evidenciaron oportunidades de mejora para los almacenamientos. (Ver figura 26, Acopios planta Los Patios).

Figura 26. Acopios planta Los Patios.

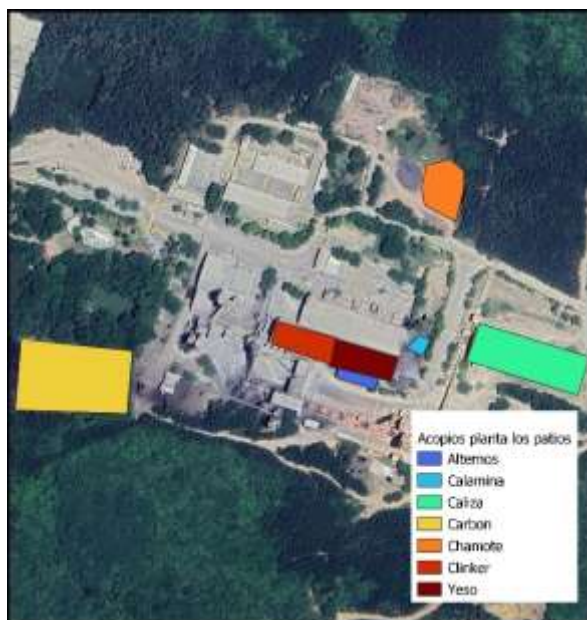


Tabla 3. Resultados Formato Inspección de acopios

Acopio	Hallazgos
Acopio de Chamote	El acopio no cuenta con demarcación El acopio no cuenta con barreras para la erosión No posee ningún sistema de control atmosférico El acopio no posee ningún tipo de control de dispersión de material.
Acopio de Calamina	El acopio no cuenta con demarcación El acopio no cuenta con barreras para la erosión No posee ningún sistema de control atmosférico El acopio no posee ningún tipo de control de dispersión de material.
Acopio de Yeso	Se evidencia dispersión de material por el área del acopio

El acopio no cuenta con demarcación
 La descarga se realiza en puntos seleccionados
 El acopio no está dedicado a para un solo tipo de material
 El acopio cuenta con barreras contra la erosión
 El acopio cuenta con estructura compartida
 El acopio no cuenta con puerta, es abierto

El acopio no cuenta con demarcación
 La descarga se realiza en puntos seleccionados
 El acopio está dedicado para un solo material
 El acopio cuenta con barreras en contra de la erosión
 El almacenamiento posee puerta
 El diseño estructural del acopio en su parte superior presenta aberturas, por donde se dispersa la emisión fugitiva.
 La puerta del acopio no cierra.
 Se evidencia presencia de material por el área del acopio

Acopio de caliza triturada

Acopio de Carbón

El acopio cuenta con señalización y demarcación
 El descargue se realiza en puntos seleccionados
 El Acopio está dedicado para un solo tipo de material
 El acopio cuenta con barreras contra la erosión
 El acopio cuenta con canales de circulación de agua.
 Para controlar la erosión eólica, se posicionan lonas encima de las pilas de carbón para controlar esta emisión, no obstante, algunas están en mal estado, y se reporta que a veces no se ubican.

El acopio cuenta con señalización y demarcación
 El descargue se realiza en puntos seleccionados
 El acopio no está dedicado para un solo tipo de material
 El acopio cuenta con una estructura
 El acopio cuenta con barreras contra la erosión
 El acopio posee puerta.
 Realizando inspección se evidencia que la puerta del almacén se encuentra abierta la mayoría del tiempo.
 El almacén cuenta con estructura compartida (Acopio de yeso).

Acopio de Clinker

Patio de alternos	<p>El acopio cuenta con señalización y demarcación. Se observan varios tipos de combustibles alternos almacenados. El descargue se realiza en puntos seleccionados. Las áreas de almacenamiento están correctamente delimitadas y señalizadas. El acopio cuenta con barreras en contra de la erosión El acopio cuenta con estructura El almacenamiento no posee puerta Se evidencia que los materiales almacenados en el patio de alternos están organizados y demarcadas, no se observa presencia de materiales afuera del área del acopio.</p>
--------------------------	--

4.3 Describir sistemas de control atmosféricos existentes en la planta de CEMEX

Los Patios

Para el desarrollo del objetivo 3, se realizó la búsqueda de los códigos de los filtros de mangas presentes en planta, donde se descarga la información del histórico de mantenimientos en SAP (desarrollo de programas de sistemas de análisis), luego, se procede a llenar el formato “inspección de estado de funcionamiento de filtros”, este analiza el estado en operación y sin ejecución, finalmente se procede a describir el estado del sistema de control atmosférico presente en el área.

Revisión general de sistemas de control atmosféricos

Para desarrollar esta actividad, se realizó una búsqueda de los códigos SAP de los filtros, se procede a la búsqueda en SAP, código por código, filtrando la fecha de los mantenimientos históricos, se descarga el archivo Excel, donde se examina que el estado del trabajo haya sido ejecutado, para evitar contabilizar, mantenimientos planeados y no ejecutados en los sistemas de control atmosférico. (Ver tabla 3).

Tabla 4. Mantenimientos filtros

FILTRO	INTERACCIONES
Filtro de mangas Trituración.	14
Filtro de mangas Silos homo, Crudo.	6
Filtro de mangas, Dosificador Harina. Horno	3
Filtro de mangas, Finos de Carbón.	6
Filtro de mangas, Carbón pulverizado	No cuenta con código SAP
Filtro de mangas, Silo de Clinker.	3
Filtro de mangas, Aditivos.	2
Filtro de mangas, Molino de cemento	17
Filtro de mangas, Dosificadores.	7
Filtro de mangas, Empacadora 014	4
Filtro de mangas, Empacadora 064	8

Revisión técnica de sistemas de control atmosférico industriales en áreas de criticidad

Para desarrollar esta actividad, se utilizaron dos formatos proporcionados por el área de mantenimiento eléctrico de CEMEX, donde se evalúa el estado de cada filtro de manga, presente en el área. Se procede a llenar los formatos de “inspección de estado de funcionamiento de filtros”.

Los formatos están compuestos de dos segmentos, uno, que evalúa el estado del filtro sin operación, esta actividad se realizó con la colaboración del equipo de mantenimiento mecánico, que proporciono una pareja de trabajadores, para realizar las inspecciones. El segundo segmento, es el estado del filtro en operación, el cual se realizó cuando los equipos de las áreas estaban operando. (Ver tabla 4).

Tabla 5. Filtros revisados

Estado	Equipo
	Se relleno el formato, “inspección de estado de funcionamiento de filtros”. Donde se evalúa el estado del filtro de manga del área en operación.
Operando	<p>Los siguientes equipos fueron evaluados:</p> <ul style="list-style-type: none"> Filtro de mangas Trituración. Filtro de mangas Silos homo, Crudo. Filtro de mangas, Dosificador Harina. Horno Filtro de mangas, Carbón pulverizado Filtro de mangas, Silo de Clinker. Filtro de mangas, Aditivos. Filtro de mangas, Molino de cemento Filtro de mangas, Dosificadores. Filtro de mangas, Empacadora 014 Filtro de mangas, Empacadora 064
Sin operar	<p>Se relleno el formato, con la colaboración del equipo de mantenimiento mecánico, se realizaron las inspecciones, del estado.</p> <p>Los siguientes equipos fueron evaluados:</p> <ul style="list-style-type: none"> Filtro de mangas Trituración. Filtro de mangas Silos homo, Crudo. Filtro de mangas, Dosificador Harina. Horno. Filtro de mangas, Carbón pulverizado Filtro de mangas, Silo de Clinker. Filtro de mangas, Aditivos. Filtro de mangas, Molino de cemento Filtro de mangas, Dosificadores. Filtro de mangas, Empacadora 014 Filtro de mangas, Empacadora 064

Descripción de todos los controles atmosféricos presentes en planta

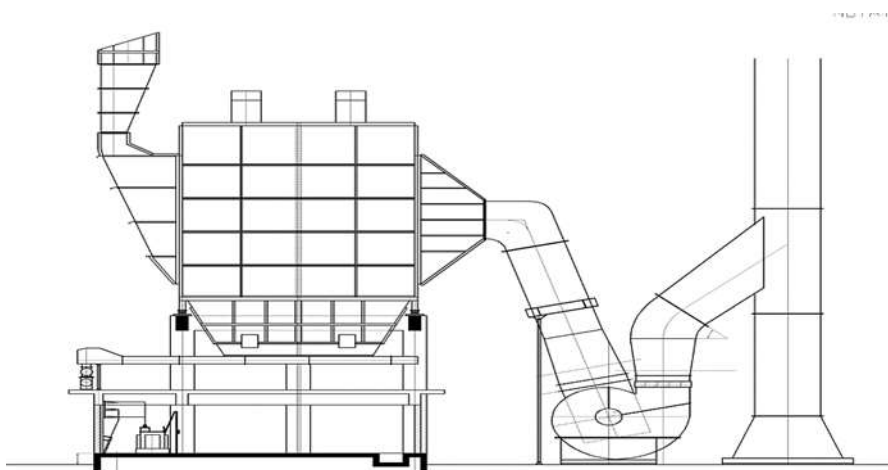
La planta posee 2 tipos de sistemas de control atmosférico, el principal es el precipitador electroestático que esta conexo a las emisiones del horno. El segundo sistema de control son los

filtros de mangas, que están ubicados en diferentes áreas, como silos, aditivos, empaque y demás, que tienen como función, captar las partículas de 0.5 a 10 micras dentro de los gases. Para alcanzar a este objetivo, se tomó en cuenta los formatos realizados en las actividades pasadas, para lograr la descripción actual del sistema.(Azambuja et al., 2017)

Precipitador Electroestático

Es un dispositivo usado en el proceso de purificación de aire hacia el medio ambiente. Este proceso se realiza por medio de alta tensión de voltaje en placas de metal, para generar campos eléctricos que atrapan las partículas de la harina, de esta manera se regula la cantidad de material que se emite desde la chimenea.(Rodríguez et al., 2017). (Ver figura 27).

Figura 27. Dibujo electrofiltro



Filtro de Mangas

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen los genéricamente llamados elementos filtrantes textiles, que según sea el diseño del constructor, tienen formas tubulares llamados mangas, o bien formas rectangulares y se llaman sacos o bolsas. Generalmente las mangas están dispuestas en el filtro en posición vertical. El aire/gas cargado de

sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas, finalmente el aire sin partículas es expulsado a través de un ducto. (Roberto & Rivera, 2015). (Ver figura 28).

Figura 28. Dibujo filtro de mangas.

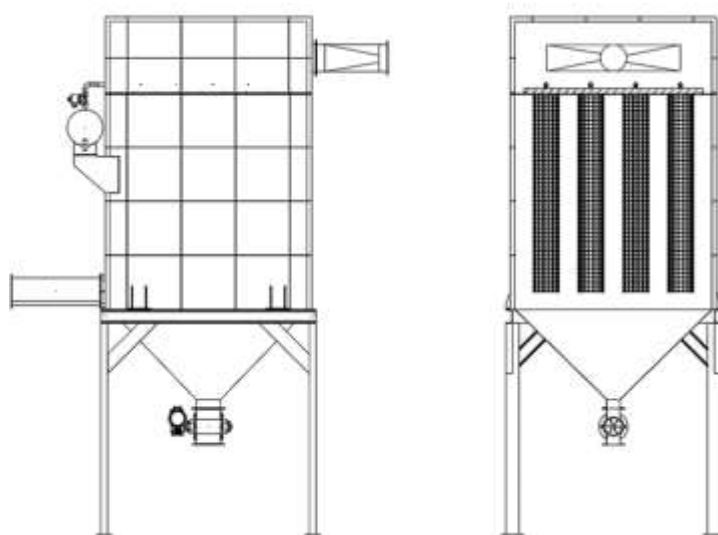


Tabla 6. Resultados Formato Inspección de acopios.

Filtro	Estado
Trituración	<p data-bbox="615 1514 789 1545">Estado: Malo</p> <p data-bbox="615 1583 1414 1654">Se inspecciono el filtro 60730, donde se encontraron los siguientes hallazgos.</p> <p data-bbox="615 1694 1143 1726">Presencia de costra en el cuerpo del filtro</p> <p data-bbox="615 1730 992 1761">Desgaste de mangas del filtro</p> <p data-bbox="615 1766 1235 1797">Se encuentran flautas sueltas del sistema de aire.</p> <p data-bbox="615 1801 1032 1833">No se encuentra toma de presión</p> <p data-bbox="615 1837 980 1869">No se encuentra manómetro.</p>

<p>Silo Homo</p>	<p>Su grado de emisión es 0</p> <p>Se inspecciono el filtro 60815, donde se encontraron los siguientes hallazgos.</p> <p>Estado: Regular</p> <p>Hay presencia de material en la cámara Hay manómetro para la toma de presión, pero no está en funcionamiento. Las mangas se encuentran en buen estado Las canastillas se encuentran en buen estado Las flautas se encuentran fijas Su grado de emisión es 0 Su golpeo se realiza cada 30 segundos, lo más viable es 15</p>
<p>Alimentación Horno</p>	<p>Se inspecciono el filtro 60926, donde se encontraron los siguientes hallazgos.</p> <p>Estado: Regular</p> <p>Hay presencia de material en la cámara Hay entrada de humedad en la cámara Hay presencia de costra en las flautas Las mangas presentan encostramiento Algunas mangas están porosas El ventilador presenta vibración Toma de presión limpia. Hay manómetro, al parecer en funcionamiento, sin embargo, no se ve el número. Su grado de emisión es 0. Su golpeo se realiza cada 30 segundos, lo más viable es 15 segundos.</p>
<p>Carbón</p>	<p>Se inspecciono el filtro 80126, donde se encontraron los siguientes hallazgos.</p> <p>Estado: Malo</p> <p>La cámara del filtro es circular La lamina no tiene desgaste Presencia de costra en la flauta Las mangas presentan encostramiento por humedad La canastilla se encuentra sulfatada por la humedad Boquilla Venturi en buen estado</p>

	<p>La carcaza presenta entrada de humedad El filtro no posee manómetro Su grado de emisión es 0. El sistema de golpeo es inadecuado para el filtro, ya que este al ser circular, el pulso de aire no conecta a la manga.</p>
	<p>Se inspecciono el filtro 60984, donde se encontraron los siguientes hallazgos.</p>
Silo Clinker	<p>Estado: Malo Presencia de material en la cámara Se encontró 6 flautas rotas Flautas sin fijar Se encontraron mangas encostradas Se encontraron 2 boquillas Venturi sueltas El filtro no posee manómetro Su grado de emisión es 0</p>
	<p>Se inspecciono el filtro 60694, donde se encontraron los siguientes hallazgos</p>
Aditivos	<p>Estado: Regular Presencia de material en la cámara Entrada de humedad a la cámara Presencia de costras en la cámara Lamina espejo en buen estado Flautas presentan encostramiento Se encontraron todas las flautas sueltas Mangas presentan encostramiento Mangas presentan porosidad El ventilador presenta encostramiento Los ductos presentan encostramiento El filtro no tiene manómetro Su grado de emisión es 0 Se evidencia que el filtro no recibía mantenimiento en largo tiempo, la apertura de la tapa de la caja fue compleja.</p>
	<p>Se inspecciono el filtro 60694, donde se encontraron los siguientes hallazgos</p>
Molino de cemento	<p>Estado: Malo La caja presenta entrada de humedad Hay costras dentro de la caja Lamina de espejo en buen estado Las flautas presentan encostramiento Las mangas presentan encostramiento</p>

	<p>Las mangas tienen desgaste Las mangas están porosas El ventilador presenta costras El equipo no tiene manómetro Grado de emisión 0</p>
Dosificador de cemento	<p>Se inspecciono el filtro 60997, donde se encontraron los siguientes hallazgos</p> <p>Estado: Regular</p> <p>Presencia de material en la cámara Entrada de humedad en la cámara Lamina en buen estado Flautas sueltas Magas con encostramiento Ventilador posee encostramiento Ductos poseen encostramiento Carcaza presenta humedad Sistema de golpeo en buen estado El filtro no tiene manómetro Grado de emisión 0</p>
Empacadora 014	<p>Se inspecciono el filtro 61106, donde se encontraron los siguientes hallazgos</p> <p>Estado: Bueno</p> <p>Se evidencia cámara limpia Lamina espejo en buen estado Se encuentran las flautas sueltas Mangas completas y en buen estado Boquilla Venturi en buen estado Ventilador presenta costras El sistema de golpeo funciona bien El filtro de encuentra sin manómetro Grado de emisión 0</p>
Empacadora 064	<p>Se inspecciono el filtro 61102, donde se encontraron los siguientes hallazgos</p> <p>Estado: Bueno</p> <p>Presencia de material en la cámara Lamina espejo en buen estado Flautas en buen estado</p>

Mangas en buen estado
Ventilador en buen estado
La tolva de descarga posee encostramiento
Funciona sistema de golpeo
No tiene manómetro el filtro

4.4 Formular el plan de mejora de emisiones fugitivas en las áreas de la planta de cemento de CEMEX Los Patios.

A continuación, se muestran las actividades desarrolladas para el cumplimiento del cuarto objetivo, iniciando con la agrupación de la información sobre áreas de criticidad obtenidas en actividades anteriores, y se proponen los mantenimientos preventivos y correctivos para la emisión fugitiva presente en el área. En consecuencia, se realiza el Anexo E, formato mantenimiento preventivo, que indica la desviación, la acción preventiva y el resultado esperado. (Ver anexo E).

Agrupación de información sobre áreas de criticidad

Se realizó agrupación de las emisiones fugitivas halladas en las áreas, gracias a la información obtenida por los formatos de hallazgo, formato áreas críticas, y formato Inspección de acopios. Esto con fin de generar un listado de las emisiones presentes en la planta para su posterior análisis, y proposición de mantenimientos enfocados en los sitios de trabajo como: Molienda de materia prima, Clinkerización, Molienda de cemento.

Molienda de crudo: Estará conformado por las áreas y acopios que se relacionen con las materias primas para la producción de harina, en este caso, trituración y crudo.

Clinkerización: Estará conformado por las áreas y acopios relacionadas a la generación de calor por carbón, producción de Clinker del horno, y enfriamiento.

Molienda de cemento: Estará conformado por las áreas y acopios relacionadas a la molienda del cemento, como a la dosificación de aditivos y el empaque del producto.

Tabla 7. Agrupación desviaciones.

Área	Agrupación
Molienda de Crudo	Rejilla de inspección abierta, sin guarda.
	Magas de la tolva de descarga rotas, deben estar cerradas.
	Banda 110, sin guarda protectora.
	Se evidencian fisuras en el cuerpo de la criba
	Resbaladera del rotor de la trituradora presenta fuga.
	Se observa emisión, y pilas de material por el área.
	Presencia de material en el suelo, por atasques en el aerodeslizador hacia la alimentación del horno
	Atasque constante en el Redler del precipitador, generando pilas de harina en el suelo
	Diferentes fisuras en ductos transportadores de gases hacia el precipitador.
	El acopio de caliza triturada, en la parte superior de su estructura, presenta aberturas por donde se evidencia emisión fugitiva.
El acopio de chamote, no tiene posee sistema de control dispersión de material.	
El acopio de calamina no posee ningún sistema de control de emisiones	
Clinkerización	Para controlar la erosión eólica, se posicionan lonas encima de las pilas de carbón para controlar esta emisión, no obstante, algunas están en mal estado, y se reporta que a veces no se ubican.
	El acopio de combustibles alternos no posee puertas de cierre.
	Emisiones fugitivas por en la descarga del molino
	Desalineamiento de la banda 0534, perteneciente en la alimentación
	Emisión fugitiva del rotor del molino
	Fallas en el filtro de molino

Empaque

Emisiones fugitivas por en la descarga del molino
 Desalineamiento de la banda 0534, perteneciente en la alimentación
 Emisión fugitiva del rotor del molino
 Fallas en el filtro de molino
 En los arranques de la empacadora hay emisión fugitiva en el área de trabajo

Los sensores de llenado de las tolvas fallan, hacen que se vierta el material al suelo, varias veces a la semana

Desde la periferia se observa emisiones fugitivas de material.

El acopio de yeso no tiene puerta en su estructura.
 El acopio de Clinker no tiene puerta de cierre.

Proposición de planes correctivos para equipos industriales y áreas generales.

Se conoce como mantenimiento correctivo la propuesta de planes correccionales para equipos industriales y áreas generales de las plantas.(Alexander & Moreno, 2019). Para lograr la actividad se realizó la proposición de actividades para el mantenimiento correctivo de las emisiones fugitivas agrupadas en la actividad anterior se tomó en consideración el centro de trabajo y la emisión reportada, para destinar el mantenimiento adecuado a la desviación seleccionada. (Ver anexo E, formato mantenimiento preventivo, para cada desviación encontrada.)

Molienda de Crudo**Rejilla de inspección de trituradora abierta, sin guarda (Trituradora)**

Como mantenimiento correctivo, se debe realizar el cambio de rejilla a compuerta, y realizar su instalación.

Mangas de la tolva de descarga rotas, deben estar cerradas. (Trituradora)

Se debe realizar el cambio de las mangas de la tolva, que estas estén completamente cerradas evitando dispersión de material.

Banda 110, sin guarda protectora. (Trituradora)

Se debe colocar guardas protectoras para la banda 110 como sistema de control atmosférico, ubicando un sistema de fácil desinstalación e instalación, para sus mantenimientos e inspecciones.

Se evidencian fisuras en el cuerpo de la criba (Trituradora)

Se propone realizar las adecuaciones necesarias para el cambio de las placas fisuradas con soldadura, como medida de corrección a las emisiones visualizadas en las grietas.

Resbaladera del rotor de la trituradora presenta fuga (Trituradora)

Se propone realizar las adecuaciones necesarias para el cambio de las placas fisuradas con soldadura, como medida de corrección a las emisiones visualizadas en las grietas del cuerpo del rotor de las barras.

Se observa emisión, y pilas de material por el área. (Trituradora)

Como medida de corrección se propone el levantamiento de las pilas, que están ubicadas debajo de la trituradora primaria.

Presencia de material en el suelo, por atasques en el aerodeslizador hacia la alimentación del horno (Crudo)

Se propone ampliar el cuerpo del aerodeslizador, para garantizar el flujo de la harina continuo, evitando atasques hacia la alimentación.

Se debe corregir la dosificación de la alimentación hacia el horno, disminuyendo el flujo de harina hacia la entrada por parte del centro de operaciones

Atasque constante en el Redler del precipitador, generando pilas de harina en el suelo (Crudo)

Se propone ampliar el Redler y sus componentes, para evitar atascamientos de harina y la formación de pilas de material.

Diferentes fisuras en ductos transportadores de gases hacia el precipitador. (Crudo)

Se propone realizar las correcciones soldando placas de Acero ASTM A36 en las fisuras de los ductos de gases, controlando la entrada de aires falsos, y emisiones fugitivas.

El acopio de caliza triturada, en la parte superior de su estructura, presenta aberturas por donde se evidencia emisión fugitiva.

Se debe cambiar el pasillo superior del acopio, colocando una pasarela cerrada, que no tenga aberturas que pueda fugar de material particulado.

Se propone instalar un sistema de control de emisiones para el patio de caliza triturada, que capture las partículas en suspensión, evitando la fuga hacia el perímetro del acopio.

El acopio de chamote, no tiene posee sistema de control dispersión de material.

Se propone instalación de una estructura que minimice la dispersión del material por la erosión eólica.

En consecuente, se debe ubicar lonas de plástico, para disminuir la dispersión del chamote en el área.

El acopio de calamina no posee ningún sistema de control de emisiones

Se propone instalación de una estructura que minimice la dispersión del material por la erosión eólica.

En consecuente, se debe ubicar lonas de plástico, para disminuir la dispersión del chamote en el área.

Clinkerizacion**Erosión eólica en patio de carbón**

Se deben cambiar las lonas de plásticos ubicadas en el patio de carbón, en consecuente, colocar estacas para el aterrizaje de las lonas.

Se propone designar una ubicación donde las lonas puedan ser almacenadas, sin sufrir deterioro, y sin obstaculizar el paso del sendero del patio.

El acopio de combustibles alternos no posee puertas de cierre

Se propone instalación de puerta corrediza para el acopio de alternos.

Molienda de cemento

Emisiones fugitivas en la descarga del molino (Molino de cemento)

Se propone mejorar el flujo del tiro del ventilador para partículas finas, evitando el almacenamiento de material en el pie del elevador.

Desalineamiento de la banda 05-034, perteneciente en la alimentación (Dosificador de cemento)

Se propone mantenimiento a los rodillos de la banda 05-034, inspección de los rodillos y el cambio de los que estén inmóviles.

En consecuente, se propone alineamiento y tensión de la banda 05-034.

Emisión fugitiva del rotor del molino (Molino de cemento)

Se propone mejorar el flujo del tiro del ventilador para partículas finas, evitando la fuga de material en la entrada de la alimentación del molino de cemento.

En los arranques de la empacadora hay emisión fugitiva en el área de trabajo. (Empaque)

Se propone hacer revisión del *Standar Work* , de arranque de empacadora

Los sensores de llenado de las tolvas fallan, hacen que se vierta el material al suelo, varias veces a la semana. (Empaque)

Se debe realizar una revisión al sistema de descarga, se debe verificar el estado de la guillotina de descarga y realizar el cambio.

Se propone revisar las señales de llenado del sensor, y verificar el estado, para realizar el cambio.

Se debe realizar cambio de los sensores de las tolvas, para evitar vertimiento de material al suelo.

Se deben inspeccionar los sensores adecuados al área de empaque.

Desde la periferia se observa emisiones fugitivas de material. (Empaque)

Se propone realizar un cuartillo de limpieza de personal, que sea hermético y que posea un soplador, y un extractor de gases.

Establecimiento de medidas preventivas para equipos industriales y áreas generales

El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza mediante la programación previa de actividades, con el fin de evitar en lo posible, la mayor cantidad de daños imprevistos y disminuir los tiempos muertos de producción por fallas.(Sacristán, 2014) Se proponen actividades preventivas para las desviaciones halladas en campo.

Molienda de Crudo

Rejilla de inspección de trituradora abierta, sin guarda (Trituradora)

Se proponen realizar inspecciones periódicas, al estado de las compuertas de inspección del área, evitando la desinstalación de la compuerta y su pérdida.

Mangas de la tolva de descarga rotas, deben estar cerradas. (Trituradora)

Se debe realizar la inspección preventiva y cambio de las tolvas, cada 6 meses, o dependiendo del estado de la tela.

Banda 110, sin guarda protectora. (Trituradora)

Se propone la creación de formato de inspección de guardas que valide el estado y la ubicación de cada guarda ubicada en la banda 110.

Se evidencian fisuras en el cuerpo de la criba (Trituradora)

Se debe realizar inspecciones visuales para examinar el estado del chasis de la criba.

Se debe revisar y evaluar cada 6 meses el estado del espesor de la lámina del tamiz.

Resbaladera del rotor de la trituradora presenta fuga (Trituradora)

Se debe realizar inspecciones visuales para examinar el estado del chasis de la trituradora.

Se debe revisar y evaluar cada 6 meses el estado del espesor de la lámina de la trituradora primaria.

Se debe crear un plan de revisión general para las necesidades del área de la trituradora primaria.

Se observa emisión, y pilas de material por el área. (Trituradora)

Se propone realizar las revisiones semanales del estado de orden y aseo del área, con el equipo de excelencia operacional.

Se recomienda seguir evaluando el estado de emisiones de las áreas cada 3 meses, aplicando el formato criticidad de áreas.

Presencia de material en el suelo, por atasques en el aerodeslizador hacia la alimentación del horno (Crudo)

Como acción preventiva, se propone revisar el protocolo de alimentación de harina al horno por parte del centro de operaciones.

Se propone realizar cambio de la esclusa del silo hacia el aerodeslizador cada año, y mantenimiento cada 6 meses.

Atasque constante en el Redler del precipitador, generando pilas de harina en el suelo (Crudo)

Se propone realizar inspecciones visuales del estado de asepsia del Redler.

Se debe crear un procedimiento para la limpieza del cárcamo, con el horno en operación.

Se debe instalar un sistema de descarga en el cárcamo del precipitador, para la descarga de harina.

Diferentes fisuras en ductos transportadores de gases hacia el precipitador. (Crudo)

Se propone realizar inspección visual de área y de ductos con el formato áreas críticas.

Se debe examinar el espesor de las láminas del ducto de gases, revisando la entrada de aires falsos y la salida de emisiones.

El acopio de caliza triturada, en la parte superior de su estructura, presenta aberturas por donde se evidencia emisión fugitiva

Se propone aplicar el formato inspección de acopios cada 6 meses, evaluando el estado de la emisión.

Se debe realizar revisión visual cada mes sobre el estado de emisiones del acopio de caliza triturada.

El acopio de chamote, no tiene posee sistema de control dispersión de material.

Se propone aplicar el formato inspección de acopios cada 6 meses, evaluando el estado del acopio frente a las dispersiones de material.

El acopio de calamina no posee ningún sistema de control de emisiones

Se propone aplicar el formato inspección de acopios cada 6 meses, evaluando el estado del acopio frente a las dispersiones de material.

Se propone realizar cambio de lonas de plástico cada 2 meses, según el estado.

Clinkerizacion

Erosión eólica en patio de carbón

Se propone aplicar el formato inspección de acopios cada 6 meses, evaluando el estado del acopio frente a las dispersiones de material.

Se propone realizar cambio de lonas de plástico cada 2 meses, según el estado

El acopio de combustibles alternos no posee puertas de cierre

Se propone aplicar el formato inspección de acopios cada 6 meses, evaluando el estado del acopio frente a las dispersiones de material.

Empaque

Emisiones fugitivas en la descarga del molino (Molino de cemento)

Se propone realizar el formato inspección de filtro en operación, para examinar el estado del ventilador.

Se debe programar cambio de las correas del ventilador del filtro, según las horas de trabajo expedidas en la ficha técnica del fabricante.

Desalineamiento de la banda 05-034, perteneciente en la alimentación (Dosificador de cemento)

Se propone realizar revisiones de estado de bandas a nivel planta, para prevenir desalineamientos.

Se debe programar mantenimientos preventivos de bandas y rodillos cada 2 meses.

Emisión fugitiva del rotor del molino (Molino de cemento)

Se propone realizar el formato inspección de filtro en operación, para examinar el estado del ventilador.

Se debe programar cambio de las correas del ventilador del filtro, según las horas de trabajo expedidas en la ficha técnica del fabricante.

Los sensores de llenado de las tolvas fallan, hacen que se vierta el material al suelo, varias veces a la semana. (Empaque)

Se debe crear protocolo de respuesta de sensores en las empacadoras, y realizar protocolo antes de turno.

Desde la periferia se observa emisiones fugitivas de material. (Empaque)

Se debe crear un protocolo de limpieza de personal, después de turnos en el área de empaque.

5. Conclusiones

La planta no posee información histórica sobre todos sus equipos, los documentos existentes en la biblioteca están desactualizados, o son antiguos. La información almacenada por medio virtual es escasa, y no tiene hilo conductor que pueda orientar futuras investigaciones dentro de la planta.

Los mantenimientos mecánicos realizados para el 2022, favorecen a las áreas de Horno, cemento y empaque, no obstante, las áreas de trituración y crudo, que son las más afectadas por las emisiones fugitivas, no presentan un gran flujo de trabajo, a comparación de las anteriores mencionadas. Por tanto, se consideran áreas criticuitas en emisiones fugitivas.

Los filtros de mangas garantizan el estado de asepsia de las áreas, y su correcto funcionamiento es clave para el proceso, tanto su cuerpo externo, como sus componentes internos, manifiestan que los mantenimientos realizados son enfocados solamente en el cambio de mangas.

Es imperativo tener un plan de mantenimiento preventivo de filtros de mangas, donde se priorice la revisión de los sistemas de limpieza de cada filtro, dado que, en las inspecciones de los equipos, los manómetros se encontraban fuera de servicio.

6. Recomendaciones

Se recomienda reportar en la plataforma los incidentes que ocurran con los atasques y formación de pilas de material en los sitios de trabajo, para llevar trazabilidad de los incidentes que ocurran en las áreas.

Se recomienda utilizar el formato inspección de filtros, y rellenarlos cada 3 meses, específicamente cuando el filtro no esté en operación.

Se recomienda crear protocolo de limpieza con sopleteo en áreas de criticidad, como lo son las áreas de molino de cemento y empaque.

Se recomienda usar el formato criticidad de áreas, para la evaluación del estado de los sitios de trabajos frente a las emisiones fugitivas

Se recomienda crear una base de almacenamiento para la información en formato físico y virtual, que sea de fácil acceso.

7. Bibliografía

- Abdul-Wahab, S. A. (2006). Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological Modelling*, 195(3–4), 338–348.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.11.044>
- Alexander, D., & Moreno, M. (2019). *PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO APLICADO A LAS MAQUINAS DE PRODUCCIÓN DE PRECOCIDOS DEL ORIENTE S.A. PRESENTADO POR.*
- ANECA. (2021). *Guia para la elaboración de un plan de mejoras* (División de evaluación de enseñanzas e instituciones, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- ASOCEM. (2016, December 31). El Proceso de Fabricación del Cemento La forma correcta de fabricarlo El Proceso de Fabricación del Cemento. 2016, 1–4.
- Azambuja, R. da R., de Castro, V. G., Bôas, B. T. V., Parchen, C. F. A., & Iwakiri, S. (2017). Granulometria das partículas e da adição de cal nas propriedades de compósitos madeiramento produzidos pelo método de adensamento por vibro compactação. *Ciencia Rural*, 47(7), 1–6. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140250>
- Carlos Alfonso Mancilla. (2008). *Aplicacion de una auditoria ambiental a la planta el trebol de cementos Bío Bío* [Universidad de Chile].
https://bibliotecadigital.uchile.cl/permalink/56UDC_INST/llitqr/alma991005781189703936
- Castillo Diaz, E. S. (2020). *Minimizaciónde material particulado generado en el proceso de clinkerizacion mediante el empleo de filtros de mangas* [Universidad Nacional de Trujillo].
<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA603632472&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=18106781&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E16005c39>

- EPA (Environmental Protection Agency). (2022, August). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Particulate Matter (PM) Pollution . <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- Esther, Y., & Condezo, E. (2017). *MODELAMIENTO TERMODINÁMICO DEL PROCESO DE CLINKERIZACIÓN EN UNAPLANTA DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO A PARTIR DE UN ANÁLISIS BASADO EN BALANCES DEMASA Y ENERGÍA*. Universidad Federal de Integración Latinoamericana .
- Lillis, E. J., & Young, D. (1975). Epa Looks At “Fugitive Emissions.” *Journal of the Air Pollution Control Association*, 25(10), 1015–1018. <https://doi.org/10.1080/00022470.1975.10470172>
- Ospina Lopez Juan Diego. (2008). *IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE BREEZE DE MODELACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO, PM-10, EN LA PLANTA PRODUCTORA DE CEMENTO CEMEX S.A., UBICADA EN LA SALIDA NORTE DE BUCARAMANGA*. [Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/209>
- Roberto, C., & Rivera, M. (2015). *Implementación de un Filtro de Mangas para desempolvar equipos transportadores de clinker*.
- Rodríguez, J. F., Alarcón Pinto, U. F., Garcia Bedoya, O., & Benavides, G. (2017). Diseño y prototipo de un precipitador electrostático. *Revista Mutis*, 7(2). <https://doi.org/10.21789/22561498.1237>
- Sacristán, F. R. (2014, August 2). Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo. *Técnica Industrial*, 1–12.
- Santacatalina, M., Reche, C., Minguillón, M. C., Escrig, A., Sanfelix, V., Carratalá, A., Nicolás, J. F., Yubero, E., Crespo, J., Alastuey, A., Monfort, E., Miró, J. V., & Querol, X. (2010).

Impact of fugitive emissions in ambient PM levels and composition. A case study in Southeast Spain. *Science of the Total Environment*, 408(21), 4999–5009.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.040>

