

**Propuesta de mejora del proceso de producción de cemento y dosificación de ceniza en una
planta de cemento de Cemex Colombia.**



Nombre autor (es). Andrés Hurtado Anillo, Yessica Paola Julio Pérez

Línea de Investigación:

Productividad, competitividad e innovación.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Industrial

2023

Contenido

Resumen	7
Introducción	9
Planteamiento del problema	10
Descripción del problema	10
Justificación.....	14
Objetivos	16
General.....	16
Específicos	16
Marco referencial	17
Antecedentes investigativos a nivel nacional	17
Antecedentes investigativos a nivel internacional.....	23
Marco conceptual	27
Marco Teórico	30
Diseño Metodológico	34
Tipo y Enfoques de Investigación	34
Fases y Actividades Metodológicas	35
Capítulo I: Diagnostico del proceso de una planta de producción de cemento Cemex Colombia.	38
Capítulo II: Análisis de los resultados del proceso de producción de cemento de la planta de cemento Cemex Colombia.	50
Capítulo III: Propuesta de mejora para proceso de producción y la optimización de los equipos del proceso de dosificación de ceniza en la planta de producción de cemento.....	66
Propuesta 1. Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM), en una planta de Cemex Colombia	66

Propuesta 2. Implementación de un sistema de dosificación, para solucionar el problema de atascamiento del Tornillo sin fin de la planta procesadora de cemento.	75
Conclusiones	87
Recomendaciones.....	89
Referencias bibliográficas	91

Tabla de imágenes

Imagen 1: Procesamiento de extracción y molienda de la materia prima.....	42
Imagen 2: Diagrama del proceso de producción de cemento.....	43
Imagen 3: Cadena de Valor Cemex general.....	59

Lista de Tablas

Tabla 1: Resultados de la composición química de la CV.....	21
Tabla 2: Diagrama de flujo de producción de cemento gris en la planta Cemex Colombia.	45
Tabla 3: Matriz DOFA de Cemex Colombia.	46
Tabla 4: Matriz PEST.....	48
Tabla 5. Estimación de costos de la implantación del TPM.	72
Tabla 6. Costos estimados de implementación de variador de frecuencia (Solución 1).....	78
Tabla 7. Costos de la implantación de un sistema de Rotary con variador (solución 2).....	83
Tabla 8. Costos de la implantación de un sistema de dosificación Fister (solución 3).....	86

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Densidad volumétrica de la ceniza volante.....	18
Gráfico 2: Resistencia a la compresión vs Dosificación cinia volante	19
Gráfico 3: Porcentaje de plantas en crecimiento de Cemex en comparación con otras industrias.	51
Gráfico 4: Capacidad y producción de cemento	51
Gráfico 5: Distribución en ventas geográficas y por productos a nivel global.	54
Gráfico 6: Ventas de cemento en Colombia durante el periodo (2011- 2022).	57

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer mejoras en el proceso de producción de cemento y la dosificación de cenizas en una planta de cemento de Cemex Colombia. Se utilizó un enfoque cualitativo que se basa en la recolección y análisis de información registrada en los informes anuales de producción de cemento de la empresa. El estudio se desarrolla de manera exploratoria y descriptiva, ya que busca examinar un tema poco estudiado y obtener información para llevar a cabo una investigación más completa en un contexto específico. En conclusión, los resultados del proyecto tienen como finalidad proponer estrategias de mejora del proceso de producción de cemento como el modelo TPM y la dosificación de cenizas, buscando alternativas que permitan una mayor producción en tiempos óptimos de aprovechamiento de los recursos. Además, se pretende identificar la optimización de los insumos de producción y compararla con la adaptación para la mejora en los equipos y plantas de producción de cemento.

Palabras clave— Adición, cenizas volantes, dosificación, implementación de buenas prácticas en el sistema de producción, TPM.

Abstract

The objective of this research work is to propose improvements in the cement production process and the ash dosage in a Cemex Colombia cement plant. A qualitative approach was used, based on the collection and analysis of information recorded in the company's annual cement production reports. The study is developed in an exploratory and descriptive way, since it seeks to examine a little-studied topic and obtain information to carry out a more complete investigation in a specific context. In conclusion, the results of the project are intended to propose strategies to improve the cement production process like the TPM. and the dosage of ashes, looking for alternatives that allow greater production at optimal times for the use of resources. In addition, it is intended to identify the optimization of production inputs and compare it with the adaptation for improvement in equipment and cement production plants.

Key Word: Addition, Fly ash, dosage, implementation of good practices in the production system, TPM.

Introducción

En el presente estudio se busca realizar un diagnóstico de una planta de Cemex en Colombia, para analizar el proceso de producción de cemento e identificar la problemática de desperdicio y rendimiento del proceso de dosificación de ceniza.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se utilizarán diferentes instrumentos de estudio, como un diagnóstico inicial a través de un análisis DOFA, del proceso de producción y las condiciones actuales de la planta de cemento, para identificar las inconsistencias o falencias que presentan las máquinas y equipos, para así poder establecer un plan de acción y mejorar el proceso optimización, en el cual se encuentra presentando falencias en su operación, causando pérdidas de material prima (ceniza) durante la producción de cemento, además generan contaminación al medio ambiente con material particulado generado por la ceniza volante y pérdidas como aumento de dosificación de Clinker.

La investigación es de tipo descriptivo y se basa principalmente en un enfoque cualitativo, ya que busca identificar los efectos y causas del desperdicio de materia prima para la producción de cemento Cemex dentro de los procesos de producción y luego proponer alternativas de mejora que permitan minimizar las pérdidas de producción.

En cuanto a la organización del trabajo, este se encuentra dividido por capítulos dentro de los cuales se encuentra el planteamiento del problema, luego se describe la justificación y los objetivos tanto generales como específicos, el marco teórico referencial dentro del cual se presentan las teorías y conceptos que deben ser tenidos en cuenta dentro de este trabajo y que de una forma u otra enriquecieron el proceso y finalmente el desarrollo de los objetivos planteados, para concluir con unas recomendaciones al final.

Planteamiento del problema

Descripción del problema

La industria cementera se ha convertido en un eslabón importantísimo dentro de la economía colombiana, permitiendo el impulso y desarrollo del sector de la construcción, por ser insumo base para este proceso, que es uno de los principales impulsores del crecimiento económico en el país (Cemex, 2022).

Desde finales del 2020, el mercado de vivienda en Colombia viene registrando niveles récord en ventas, favorecido por una fuerte reactivación de la demanda desde el periodo post pandemia, impulsada por los programas de subsidios del Gobierno Nacional para la compra de vivienda nueva y las bajas tasas de interés hipotecarias de los últimos dos años, pero para el año 2022, el mercado de vivienda ha desacelerado su ritmo de crecimiento, afectado por el agotamiento de los subsidios de vivienda y el ciclo de aumento en las tasas de interés (Cemex, 2022).

Mucho se ha escuchado que la industria cementera es un mercado de un bien poco diferenciado, concentrado, donde existen barreras a la entrada (por las altas inversiones iniciales), baja capacidad de acumular inventarios, y altos costos de distribución (Cárdenas y Parra, 2006), y (Fedesarrollo, 2007).

En este sentido, la sólida tendencia en las ventas de cemento ha sido impulsada principalmente por los segmentos formales, destacándose especialmente el sector residencial. Este comportamiento ha estado asociado a la buena dinámica de las ventas de cemento granel, las cuales registran un crecimiento anual del 12,5% en el acumulado al mes de septiembre de 2022, mientras que las ventas de cemento empacado presentan una desaceleración, con un crecimiento de 2,8%, asociado a la menor dinámica de ventas en el segmento de autoconstrucción (DANE, 2022). Así mismo, el segmento Constructor presentó una caída

interanual de -0,6% en el acumulado al mes de septiembre de 2022 (DANE, 2022). El volumen de cemento destinado a este segmento se vio afectado por una disminución en el inicio de obras en los sectores comercial e industrial. Por otro lado, en cuanto al cuidado del medio ambiente, cabe destacar los avances en la gestión del agua en las operaciones de molienda de las plantas de Clemencia (Bolívar) y Santa Rosa (La Calera). Estas plantas ocupan el primer y séptimo lugar, respectivamente, en el CX Water Ranking a nivel mundial, gracias a medidas como la recirculación y la reducción del consumo de agua fresca durante el proceso (DANE, 2022).

Pero, la estrategia antes mencionada se ha visto afectada en una de estas plantas mencionadas, debido a que la empresa Cemex decide empezar a trabajar en el proyecto a principios del año 2020 para la implementación de ceniza en su proceso de producción, que busca la forma de optimizar el proceso de producción, implementando adiciones que ayuden a disminuir el factor de Clinker, las diferentes investigaciones y pruebas que se ejecutaron por parte del área de calidad arrojaron resultados positivos a la hora de implementar adiciones en el proceso de molienda de cemento, uno de estos resultados positivos fue la adición de ceniza volante, lo cual ayudaba notoriamente en la disminución del factor de Clinker, y aumentaba las resistencias del cemento en muy buena forma, al momento en que la empresa utilizara esta adición en su proceso implementa la economía circular.

En la cual se promueve la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materia prima y aprovechamiento de los residuos generados en otro proceso, los cuales se reciclan dándoles una nueva vida para así convertirlo o que hagan parte de un nuevo producto. Pero no iba a ser nada fácil implementar esta adicción, ya que para poder adicionar este material se necesitaba diseñar un montaje el cual para la empresa Cemex ubicada en Colombia era costoso, pero los resultados que mostraban las pruebas a nivel laboratorio valía la pena realizarlo, cabe resaltar que para adicionar este material debe hacerse de forma dosificada,

porque tiene que ser controlado por un operador a la hora de producir el tipo de cemento que se va a trabajar, pero surge una problemática de desperdicios de material de ceniza el cual forma una nube de polvo afectando el aire (Cemex Colombia, 2021).

Para la ejecución del proyecto en mención, la planta contempla las siguientes características tales como un compresor que es utilizado para descargar las cisternas que llegan con el material, posteriormente esa ceniza es descargada y pasa directamente al silo el cual tiene un filtro en la parte superior que tiene como objetivo despresurizar el silo y controlar emisiones generadas en carga y descarga del silo, así mismo, la ceniza que queda en el silo baja por gravedad, pero también el proceso consta de un vibrador el cual al ser accionado ayuda a bajar las cenizas volantes, también consta de un flujo de aire el cual se genera a través de electroválvulas las cuales están diseñadas para controlar el paso de un fluido en este caso permiten o no permiten el paso del aire, al inyectar aire esto fluidifica el silo y permite que la ceniza baje a un tornillo sin fin, que cumple la función de transportar el material, este tornillo se compone de una hélice montada sobre un eje suspendido en un canal en forma de U, además, se ubica un conjunto de motorreductores en uno de los extremos del eje del tornillo, los cuales hacen girar la hélice que arrastra el producto a transportar, posteriormente, dicho material cae en una tolva que está sostenida por 4 celdas de carga, las cuales para mantener un nivel de llenado constante arrancan o paran el tornillo sin fin según se requiera, y basándose en la densidad de la ceniza 1.16, utilice la gravedad y entrega la cantidad requerida en el proceso que actualmente tiene una alta desviación (Toledo, 2022).

Formulación del problema

¿Cuál es el proceso de producción de cemento y dosificación de ceniza que está generando desperdicios de material en una planta de Cemex Colombia?

Justificación

En el mundo empresarial se estima la necesidad de la actualización de los modelos productivos, la razón es la búsqueda de la tan anhelada competitividad y por ende la rentabilidad, con este proceso de dosificación de cenizas en la planta de cemento Cemex, buscamos prevenir y disminuir contaminaciones al entorno y medio ambiente. Al lograr un buen manejo del proceso de recirculado estaríamos evitando enfermedades laborales a largo plazo en los trabajadores generadas por Sílice, aluminio, óxido férrico, calcio, magnesio, óxido de azufre, sodio, potasio.

Para el caso de las actividades en el sistema productivo de la planta de cemento Cemex se busca reducir todos esos impactos, ya que si el proceso se hiciera de una manera más eficiente no se desperdiciará ese producto que queda en el entorno causando así pérdidas, con el proceso de recirculado se busca un mayor aprovechamiento y utilidad regresando este a unos silos.

Además de ser en el ámbito regional cementero una de las organizaciones especializadas y caracterizadas por prestar un buen servicio en la comercialización de cementos, aportando así a las diferentes de infraestructura de nuestra ciudad y país, por eso con este proceso de conservación de partículas buscamos minimizar en mayor cantidad pérdidas en este producto. También es una manera muy eficiente de cuidar de nuestro grupo de colaboradores y medio ambiente.

Así mismo, la optimización del proceso de producción tiene la ventaja de poder ser más competitivos en el mercado, contar con equipos y maquinaria de óptima calidad que no impacte negativamente el medio ambiente y genere menos desperdicios de insumos o material para la producción de cemento, los procesos y procedimientos de la preparación del producto es de mejor calidad en comparación con otros competidores en el mercado, aumento en la capacidad

de producción de cemento para responder a la exigencias del mercado. También es importante resaltar que los procesos productivos se hacen con mayor facilidad y eficiencia.

Este proyecto es pertinente para que los estudiantes puedan contar con un material de apoyo para sus investigaciones utilizando los conocimientos teóricos y prácticos plasmados en el trabajo, para así poder transmitir estos mismos a futuro a cada uno de los empleados que hacen parte de esta organización.

Finalmente, este proyecto tiene como objetivo principal reducir al mínimo el porcentaje de error en todas las operaciones de producción de cemento de la empresa, esto permitirá maximizar el aprovechamiento de los recursos y optimizar los costos. Para lograrlo, se aplicarán teorías de optimización de producción de planta, lo que brindará al personal la oportunidad de adquirir conocimientos y experiencia en estos temas.

Objetivos

General

Realizar una propuesta para mejorar el proceso de producción de cemento y dosificación de ceniza de una planta de cemento de Cemex Colombia.

Específicos

Diagnosticar el proceso de producción de cemento de una planta de Cemex Colombia, para identificar la problemática de desperdicio de dosificación de ceniza.

Analizar los resultados obtenidos del diagnóstico del proceso de producción en una de las plantas de cemento Cemex Colombia, para plantear una propuesta de mejora.

Presentar una propuesta de mejora que nos permita añadir nuevos equipos al proceso de producción en la planta, que pueda controlar cada uno de los problemas que padece actualmente el sistema de dosificación.

Marco referencial

Antecedentes

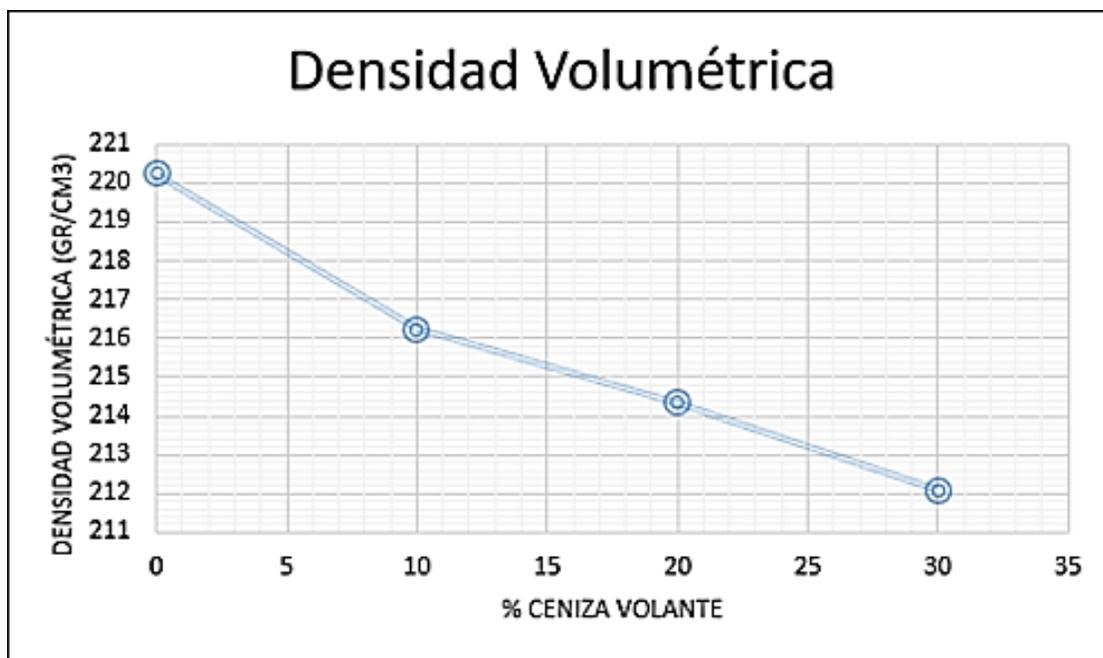
La industria cementera en Colombia tuvo sus inicios en 1905, cuando Inversiones Samper S.A. estableció la primera planta de cemento en el país, esta planta comenzó su producción en 1909, con el tiempo, surgieron nuevas empresas dedicadas a la producción de cemento para satisfacer la creciente demanda nacional. estas industrias se establecieron en distintas regiones del país, lo que resultó en una diversidad de procesos y materias primas utilizadas en la elaboración del cemento, siempre cumpliendo con los estándares mínimos de calidad requeridos.

Antecedentes investigativos a nivel nacional

Díaz y Meneses (2019) llevaron a cabo un estudio para determinar los efectos de agregar ceniza volante en las propiedades mecánicas y la resistencia a la penetración del ion cloruro en el mortero, el enfoque metodológico se dividió en diferentes etapas, en la fase de consulta, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para comprender teóricamente el comportamiento del mortero en presencia del ion cloruro, además, se investigaron los efectos de agregar minerales, como la ceniza volante, como materiales cementantes suplementarios en el diseño de la mezcla de mortero, se llevó a cabo un diseño de mezcla variando el porcentaje de reemplazo de ceniza volante. Se realizaron ensayos para caracterizar los componentes, incluyendo cemento, agregados y ceniza volante, para el cemento, se evaluó la finura y densidad; para los agregados, se analizó la granulometría y la masa unitaria (suelta y compacta); y, por último, se caracterizó la ceniza volante, se elaboraron probetas de mortero y se realizaron ensayos para determinar las propiedades mecánicas tanto en estado fresco como endurecido. Además, se llevó a cabo el ensayo de migración del ion cloruro (NT.- BUILD 492), así mismo, en el

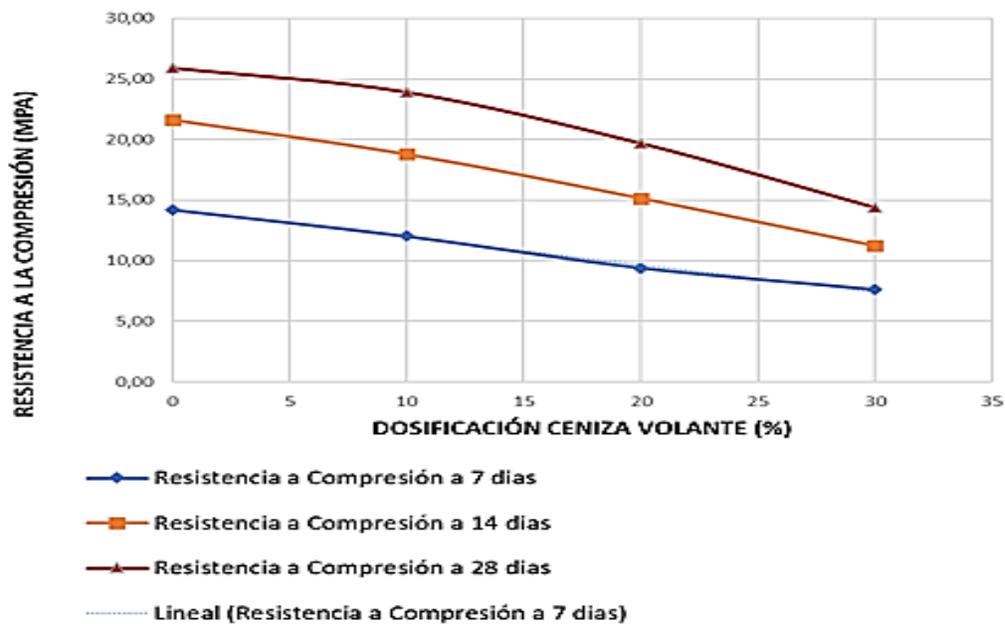
análisis de los resultados, se interpretaron los datos obtenidos en los ensayos para evaluar cómo afecta la adición de ceniza volante en el comportamiento del objeto de estudio, los resultados mostraron que los valores del coeficiente de migración no cumplieron con las expectativas. Se esperaba que al agregar ceniza volante como aditivo al mortero, la penetración del ion cloruro disminuyera. Sin embargo, de acuerdo con la gráfica 15, se evidenció que la penetración del ion cloruro aumenta en relación con el porcentaje de adición de ceniza volante, en un rango de $15 \text{ a } 20 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Por lo tanto, la resistencia disminuye con el tiempo, lo cual indica que este material no es adecuado para su implementación (Díaz y Meneses, 2019).

Gráfico 1: *Densidad volumétrica de la ceniza volante.*



Fuente: Díaz y Meneses (2019).

Gráfico 2: Resistencia a la compresión vs Dosificación cinia volante



Fuente: Díaz y Meneses (2019).

Conclusión, la ceniza volante utilizada en esta investigación no era completamente pura, ya que presentaba un alto contenido de inquemados, esto resultó en una disminución de las propiedades físicas y mecánicas del mortero, en altas cantidades, la ceniza volante no es un material adecuado para su implementación en la industria de la construcción, además, su inclusión en el mortero conlleva una disminución en las propiedades mecánicas, lo que a su vez aumenta la penetración del ion cloruro en relación al porcentaje de ceniza agregada, es importante destacar que la asertividad secundaria es más relevante en los análisis de resultados, debido a su comportamiento constante en comparación con la sortividad inicial, que muestra un comportamiento más acelerado y genera gráficos y resultados menos significativos, con base al ensayo NT BUILD 492 se evidencia que al mayor aumento de porcentaje de ceniza presenta los coeficientes de difusión más elevados es decir que ion cloruro penetra de forma más rápida en los especímenes, esta migración del ión representa problemas en estructuras con acero de

refuerzo debido a que deteriora la vida útil y acelera problemas de corrosión, resistencia y durabilidad (Díaz y Meneses, 2019).

Bautista, Díaz y Martínez (2017) En este estudio, se investigaron las soluciones para aprovechar la ceniza volante como materia prima en diversas aplicaciones, como la fabricación de cemento. A continuación, se describen los aspectos metodológicos empleados, se analizaron las cenizas volantes obtenidas a través de la combustión del carbón suministrado por la Compañía Eléctrica de Sochagota SA, Termopaipa IV, ubicada en el km 5 de la carretera Paipa a Tunja, en Boyacá, Colombia. Para garantizar la representatividad de las muestras, se sometieron a un proceso de homogeneización. La composición elemental se determinó utilizando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X de energía dispersa, específicamente el modelo Axios Petro de 4 kW de la marca PANalytical, equipado con un detector de Xenón (Xe) de centelleo de flujo y un ánodo de Rodio (Rh), con el fin de identificar las fases cristalinas y mineralógicas presentes en las cenizas volantes, se utilizó un difractómetro de rayos X de la marca PANalytical, tomando medidas en el rango de $2\theta=10^\circ$ a $2\theta=70^\circ$, además, se llevó a cabo un análisis petrográfico por microscopía óptica utilizando la técnica de sección delgada pulida (SDP) para obtener información sobre la morfología de las cenizas volantes y estimar su composición, para este propósito, se empleó un microscopio petrográfico Leica DM 4500P con luz polarizada, en cuanto a los resultados, se determinó que la composición química de las cenizas volantes utilizadas en este estudio se caracteriza por una alta concentración de óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), siendo estos los elementos mayoritarios, se encontraron también contenidos de otros metales, aunque en menor proporción, los resultados indican que las cenizas volantes consisten principalmente en compuestos aluminosilicatos.

Tabla 1: Resultados de la composición química de la CV.

Compuesto	Comp.% Wt	Compuesto	Comp.% Wt	Compuesto	Comp.% Wt
SiO ₂	64.87	TiO₂	1.20	SrO	0.11
Al ₂ O ₃	24.62	P₂O₅	0.66	BaO	0.10
Fe ₂ O ₃	4.51	Na₂O	0.52	CuO	0.09
K ₂ O	1.36	MgO	0.40	V₂O₅	0.05
CaO	1.33	SO₃	0.12	Zr₂O₂	0.03

Fuente: Bautista, Díaz y Martínez (2017).

Conclusión los resultados indican que las CV tomadas de la combustión del carbón suministradas por la Compañía Eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P – Termopaipa IV, ubicada en la región de Boyacá, Colombia, cumplen con los requerimientos para utilizarlas en la industria cementera, las CV de esta central termoeléctrica, debido a su cantidad de inquemados, constituyen la materia prima para utilizarse en la fabricación de ladrillos ya que pueden aportar energía en la fase de sinterización, si bien los contenidos de aluminio y hierro son bajos (Al₂O₃ 24.62%) (Fe₂O₃ 4.51%), en comparación con la cantidad de aluminio y hierro necesaria presente en las CV para que sea aceptada por las plantas de alúmina y acerías para la extracción de estos, se puede pensar en un proceso de beneficio con el cual puedan extraerse estos tipos de óxidos (Bautista, Díaz y Martínez, 2017, p.p. 135-143).

Osorio (2020) se analizaron los costos de producción de una mezcla de mortero basada en la activación alcalina de cenizas volantes en comparación con una mezcla de concreto hidráulico convencional a base de cemento Portland, el objetivo era evaluar su viabilidad económica, para

ello, se realizó un análisis bibliográfico de textos científicos que abordaban el desarrollo de mezclas de mortero de activación alcalina con cenizas volantes como material aglutinante. Se compararon los objetivos y metodologías utilizadas por cada autor, así como los resultados obtenidos, a partir de esta revisión, se seleccionaron las condiciones que favorecían el comportamiento reológico de las mezclas analizadas y se propuso un diseño único que fuera compatible con dichas condiciones, posteriormente, se comparó este diseño teórico de mezcla de mortero de activación alcalina con una mezcla de mortero a base de cemento Portland ya existente, la selección de esta mezcla se basó en su rendimiento similar al diseño teórico, además, se determinó el costo aproximado de producción de cada una de las mezclas para evaluar su conveniencia económica y considerar el diseño de mezcla de activación alcalina como una opción de reemplazo viable para el mortero convencional, tras explorar las diferentes metodologías empleadas por los autores seleccionados, se encontraron similitudes que permitieron consolidar un diseño de mezcla de mortero de activación alcalina digno de ser comparado con el mortero convencional..

Es evidente que las proporciones y composición química de los materiales utilizados tienen un impacto significativo en el comportamiento reológico de la mezcla, también es importante considerar el proceso de activación, donde se ha demostrado que la activación alcalina es compatible a temperatura ambiente, sin embargo, en términos de practicidad, hay aspectos que requieren mejoras, ya que la activación a temperatura ambiente es relativamente lenta y los resultados no siempre cumplen las expectativas, en conclusión, la mayoría de los casos analizados indican que las mezclas de activación alcalina requieren temperaturas superiores al ambiente, lo que plantea la necesidad de invertir en su desarrollo, especialmente cuando se considera utilizarlas como material de construcción y se tienen en cuenta las ventajas

que ofrecen los materiales competidores, aunque teóricamente se pueden obtener ciertos beneficios con las mezclas de activación alcalina, trabajar con productos químicos potencialmente peligrosos requiere una preparación previa, el personal encargado de realizar estas mezclas debe estar capacitado y prestar atención a los detalles, ya que mezclar los materiales de manera convencional en el sitio de trabajo no garantiza la activación (Osorio, 2020).

Antecedentes investigativos a nivel internacional

Huaquisto y Belisario (2018) La utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto tiene como objetivo mejorar la calidad del material, se plantea la posibilidad de utilizar la ceniza volante como sustituto en la dosificación del concreto para aumentar su resistencia, durabilidad y trabajabilidad, dado que la ceniza es un material contaminante para el medio ambiente, su uso en pequeñas cantidades en la mezcla de concreto resulta apropiado para reducir su impacto ambiental en áreas expuestas, en cuanto al aspecto metodológico, se empleó concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2,5%, 5,0%, 10% y 15%, y se evaluó su resistencia a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indican que a los 28 días se obtienen resistencias promedio de 221 kg/cm² para el concreto normal, 223 kg/cm² para el concreto con 2,5% de ceniza volante, 231 kg/cm² para el 5,0%, 200 kg/cm² para el 10,0% y 192 kg/cm² para el 15% de ceniza volante, concluyendo que la ceniza volante debe utilizarse como sustituto del cemento en un rango inferior al 10%, ya que más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, lo cual puede resultar perjudicial para los controles de calidad.

En este orden de ideas, en el Instituto Mexicano del Transporte llevó a cabo un estudio preliminar para identificar cómo la incorporación de cenizas volantes afecta las resistencias a la compresión de las mezclas de concreto. El aspecto metodológico sugiere que, a edades

tempranas, el comportamiento de resistencia es más un fenómeno físico que químico. Sin embargo, a edades más avanzadas, de 10 a 12 semanas, el incremento en la resistencia se debe al efecto puzolánico de la ceniza volante, en Madrid, España, se realizó un estudio sobre el efecto de la adición de mezclas de cenizas volantes y cenizas de fondo procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de los cementos Portland, se utilizó un cemento CEM 1 como material de referencia y se fabricaron morteros con arena normalizada y agua destilada, las cenizas volantes y de cenicero de la central termoeléctrica de En Densas-Carboneras en Almería se emplearon debido a sus propiedades químicas y físicas adecuadas, los morteros se elaboraron con una relación agua/cemento de 0,50 y una relación cemento/arena de 1/3, se realizaron pruebas de curado en una cámara con humedad relativa $\leq 90\%$ y temperatura de 20 °C durante 24 horas, seguido de un curado bajo agua hasta el momento del ensayo, los resultados mostraron resistencias a compresión a 1, 3, 7, 14, 28 y 90 días para los morteros elaborados con las mezclas de ceniza volante. Se concluye que la utilización de mezclas de cenizas de fondo o cenizas volantes en diferentes proporciones (del 0% al 100%) no influye significativamente en el comportamiento (Huaquisto y Belisario, 2018).

Silva, Figueiredo & Rodrigues (2023), at the article denominated “Influence of Brazilian fly ash fineness on the cementing efficiency factor, compressive strength and Young's modulus of concrete, *Developments in the Built Environment*”, this work investigates the cementing efficiency, determined by the k-value, of a Brazilian fly ash. The analyzed variables are the fly ash fineness and content, the water content in the mixtures and age of concrete. Further, the influence of the fineness of fly ash on the Young's modulus was also investigated. The results indicate that the k-values evaluated for Brazilian fly ash are higher than the one recommended by European standard for concrete, EN 206, furthermore, k-value depends on fly ash content and

decrease when the content in the mixture is raised. Water/binder ratio and hydration time significantly influence the k-value, too; the results also indicate an improvement of k-value and relationship between compressive strength, Young's modulus and the fly ash amount in the mixture with an increase in fly ash fineness, new relationships between compressive strength and water/effective cementitious materials ratio, considering the k-values, are proposed for fly ash-concretes.

Orozco, Babel, Tangtermsirikul & Sugiyama (2023). In their investigation “Understanding the environmental, economic, and social impact of fly ash utilization on early-age high-strength mass concrete using life cycle analysis, *Materials Today: Proceedings*”, High-strength mass concrete mixtures are a crucial component of numerous structures nowadays, however, concrete greatly impacts the environment, economy, and society, the impact of employing fly ash in early-age, high-strength mass concrete mixtures has not yet been quantified and documented in the literature, this study aims to evaluate the impact of early-age, high-strength mass concrete mixtures and provide insight into how the current practice might be enhanced to promote sustainability, the research examines concrete mix utilized in two bridges in the Philippines with the following design compressive strengths: 55 MPa at 7 days (7OPC), 55 MPa at 28 days (28OPC), and 55 MPa at 7 days with 20% fly ash as cement substitute (7FA20), using SimaPro 9.3, a cradle-to-gate life cycle analysis was conducted to quantify their effects based on 18 midpoint and 3 endpoint categories, results show higher impact of 7OPC on 17 midpoint and 3 endpoint indicators was observed than on 28OPC. The most significant midpoint impacts based on normalization are fossil resource scarcity, global warming potential, ozone formation, human carcinogenicity toxicity, and terrestrial ecotoxicity, the global warming potential of 7OPC was quantified to be 636 kg CO₂ eq compared to 549 kg CO₂ eq of 28OPC

concrete, utilizing fly ash decreased the damage to resources (11%), human health (16%), and the environment (16%), analysis of concrete constituents indicated that using chemical admixtures to obtain early high strength contributed significantly to fossil resource scarcity and resource damage, the framework presented in this study may be used for assessing the sustainability of utilizing other waste materials in concrete production.

Marco conceptual

Cenizas Volantes: Las partículas finas de ceniza, polvo y hollín en estado sólido se liberan al aire durante la combustión de un combustible (GreenFacts, 2022).

Dosificación: Es necesario seguir las indicaciones precisas con respecto a la cantidad de medicamento a administrar, los intervalos entre las dosis y la duración del tratamiento (Figueroa, 2007).

Mortero: se puede definir como una mezcla de materiales que incluye un aglutinante (como el cemento Portland u otros cementantes), un material de relleno (como arena o agregado fino), agua y posiblemente aditivos. Cuando se endurece, adquiere propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto. El mortero es ampliamente utilizado en la construcción para unir piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos. En este último caso, se le conoce como pañete, repello o revoque. (Sarmiento y Arenas, 2012).

Densidad: La densidad se define como la relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa. Las unidades de masa más comúnmente utilizadas son kg/m^3 o g/cm^3 para los sólidos, y kg/l o g/ml para los líquidos y gases, cuando se habla de la densidad de una sustancia, se describe cómo su peso está relacionado con su tamaño. (Greenfacts, 2022).

Sílice: El SiO_2 , una combinación de silicio y oxígeno, forma parte de la composición de diversos minerales.

Aluminio: Se trata de un metal plateado muy ligero con una masa atómica de 26,9815. Posee un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de 2.467°C , además, su densidad relativa es de $2,7 \text{ kg/m}^3$, también es conocido por su amplia aplicación en numerosas industrias

debido a su baja densidad y su excelente conductividad térmica y eléctrica, es utilizado en la fabricación de estructuras livianas, envases, utensilios de cocina, componentes electrónicos y muchas otras aplicaciones.

Óxido férrico: también conocido como óxido de hierro rojo, es un pigmento ampliamente utilizado en la industria de la pintura y los cementos debido a su distintivo color rojo, este compuesto presenta una serie de ventajas que lo hacen especialmente atractivo para su aplicación en estos campos (TTamayo, 2023).

Calcio: El calcio es un elemento químico representado por el símbolo Ca y tiene un número atómico de 20. Es el quinto elemento más abundante y el tercer metal más común en la corteza terrestre, y los compuestos de calcio representan aproximadamente el 3.64% de la composición de la corteza terrestre, el calcio se presenta en tres formas cristalinas diferentes, lo que se conoce como trimorfismo. Es más duro que el sodio, pero más blando que el aluminio (Lenntech, 2023).

Magnesio: es un metal alcalino de color blanco plateado, que es maleable y ligero en su forma pura, sin embargo, es importante destacar que no se encuentra en la naturaleza en su estado elemental, sino que solo se encuentra en combinación química con otros elementos, es un componente esencial en el tejido animal y vegetal, desempeñando un papel vital en numerosos procesos biológicos, el potasio es fundamental para el funcionamiento adecuado de las células, especialmente en lo que respecta a la transmisión de señales nerviosas y la contracción muscular, además, es necesario para el equilibrio de líquidos y electrolitos en el cuerpo, y juega un papel importante en la regulación de la presión arterial. Como resultado, el potasio es un nutriente

esencial para los seres vivos y se encuentra en muchos alimentos, como frutas, verduras y legumbres (materasensioproducto, 2023).

Óxido de azufre: son compuestos gaseosos que incluyen el trióxido de azufre (SO_3) y el dióxido de azufre (SO_2), el dióxido de azufre (SO_2) es el óxido de azufre más abundante y común en la atmósfera. Por otro lado, el trióxido de azufre (SO_3) es un compuesto intermedio en la formación del ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Adición: son sustancias de procedencia tanto natural como artificial que se utilizan en combinación con mezclas cementicias con el fin de mejorar su desempeño tecnológico, estas mejoras se reflejan tanto en el estado fresco de las mezclas como en sus propiedades resistentes y duraderas.

Marco Teórico

El presente proyecto se basa en la optimización del proceso de dosificación de cenizas en la planta de cemento Cemex Colombia. Como soporte se llevará a cabo una descripción general de todo el proceso.

En el año 2020 en la empresa de Cementos Cemex ubicada en Colombia inicia un proyecto para la implementación de cenizas en su proceso de producción. El cual consta de un compresor que es utilizado para descargar las cisternas que llegan con el material, posteriormente esa ceniza es descargada y pasa directamente a un silo el cual tiene un filtro en la parte superior que tiene como objetivo despresurizar el silo y controlar emisiones generadas en carga y descarga del silo. Esa ceniza que queda en el silo baja por gravedad, pero también el proceso consta de un vibrador el cual al ser accionado ayuda a bajar las cenizas volantes, también consta de un flujo de aire el cual se genera a través de electroválvulas las cuales están diseñadas para controlar el paso de un fluido en este caso permiten o no permiten el paso del aire, al inyectar aire esto fluidifica el silo y permite que la ceniza baje a un tornillo sin fin.

Con este proyecto se busca hacer mejoras continuas en el proceso de producción de la empresa.

Mejora continua

La mejora continua es una herramienta la cual sirve para optimizar la productividad de forma constante a través de procesos que mejoren los productos y servicios de una organización. Entre sus acciones se busca corregir y reforzar los cuellos de botellas, y así obtener excelentes resultados en la compañía.

Este sistema fomenta los cambios a pequeñas escalas, más que grandes innovaciones, buscamos que este proceso de dosificación de ceniza se vuelva más eficiente, permitiéndonos

ahorrar costos, de tal forma que el material dosificado no se atasque tanto al momento de su alimentación en el proceso.

Lo que buscamos reflejar en nuestro proceso aplicando esta herramienta es dar a conocer que hay un método mejor para realizar esta tarea.

El texto habla sobre la industria del cemento y su proceso de fabricación, específicamente el proceso utilizado por Cemex-Colombia, el cemento se define como una mezcla de arcilla molida y otros materiales calcificados en polvo que adquiere propiedades adherentes después de un proceso adecuado y es considerado la materia prima más importante en la construcción, el proceso de fabricación del cemento comienza con la explotación de materias primas, donde se extraen la caliza y la arcilla de las canteras a través de barrenación y detonación con explosivos, el transporte de estas materias primas fragmentadas se realiza en camiones o bandas hacia la planta de producción (Latorre, 2008).

Una vez en la planta, el material de la cantera es triturado en trituradores para reducirlo a un tamaño máximo de una y media pulgadas, luego, se lleva a cabo la pre-homogeneización, que consiste en la mezcla proporcional de los diferentes tipos de arcilla, caliza u otros materiales necesarios, las materias primas son almacenadas por separado en silos y luego dosificadas para la producción de diferentes tipos de cemento, la molienda de la materia prima se realiza utilizando un molino vertical de acero o molinos horizontales, donde el material es pulverizado por bolas de acero, después de la molienda, se lleva a cabo la homogeneización de la harina cruda en silos para lograr una mezcla homogénea del material, la siguiente etapa es la calcinación, que se realiza en grandes hornos rotatorios donde la harina se transforma en clinker, que son pequeños módulos de color gris oscuro de 3 a 4 cm (Latorre, 2008).

En este sentido, el clinker es molido utilizando bolas de acero en un molino, y se agrega yeso para controlar el tiempo de fraguado del cemento, luego, el cemento es enviado a los silos de almacenamiento y se extrae mediante sistemas neumáticos o mecánicos para ser envasado en sacos de papel o transportado a granel en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos, en el proceso de fabricación se utilizan diversos equipos como tolvas, hornos rotativos, volquetas, silos, bandas transportadoras, molinos horizontales de acero, dosificadores, transportadores aéreos, elevadores de cadena y filtros separadores (Latorre, 2008).

Mantenimiento Productivo Total - TPM

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), registrado por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) en 1971, es un sistema ampliamente conocido para prevenir problemas en la maquinaria. Su objetivo principal es eliminar las seis grandes pérdidas de los equipos y permitir la producción "Just in Time". El TPM se enfoca en eliminar sistemáticamente todos los desperdicios y evitar cualquier fallo mediante la participación de todo el personal en todas las fases del proceso productivo.

Con el TPM, se busca evitar cualquier pérdida de producción debido al mal estado de los equipos, manteniéndolos siempre listos para ser utilizados a su máxima capacidad sin paradas no programadas, el objetivo de alcanzar cero fallos solo es posible si se elimina o reduce al mínimo el mantenimiento correctivo, limitándolo a reparar las averías de inmediato y utilizarlas como estudio para evitar que vuelvan a ocurrir.

La base del sistema TPM son las 5S, que representan las cinco etapas de la metodología de mejora continua: Clasificación, Orden, Limpieza, Estandarización, Disciplina y Mantenimiento, esta metodología se enfoca en optimizar la eficiencia de los equipos y las

operaciones, eliminando fallas, no conformidades y tiempos de cambio, el orden y la limpieza también juegan un papel importante en el sistema, y se requiere la participación de todo el personal, especialmente los empleados de producción, para alcanzar los objetivos.

Una vez que se cumplen los objetivos del TPM, la empresa experimenta una serie de beneficios que aumentan la rentabilidad, como la mejora de la calidad al producir menos unidades defectuosas, el aumento de la productividad mediante la disponibilidad de tiempo, flujos de producción continuos y una reducción de incertidumbre en la planificación, aprovechamiento del capital humano, y la reducción de gastos de mantenimiento correctivo y costos operativos.

El TPM identifica seis fuentes de pérdidas, incluyendo fallos del equipo que generan pérdidas de tiempo inesperadas, ajustes de máquinas al iniciar una nueva operación, detenciones menores por averías o esperas durante la operación normal, reducción de la velocidad normal de operación, defectos en el proceso que requieren retrabajo o correcciones, y pérdidas de tiempo asociadas al arranque de un proceso nuevo.

Una vez identificadas estas grandes pérdidas, la empresa debe eliminarlas o reducirlas al mínimo, por lo tanto, se deben analizar cuidadosamente las causas y buscar soluciones adecuadas, involucrando tanto al personal de producción como al de mantenimiento, ya que las causas suelen estar relacionadas con ambos departamentos.

Diseño Metodológico

Tipo y Enfoques de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo mixto, porque combina enfoques cualitativos y cuantitativos para abordar una pregunta de investigación o un problema, esta metodología permite recopilar y analizar datos tanto cualitativos como cuantitativos, lo que proporciona una visión más completa y profunda del tema en estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Buscando así, la optimización del proceso de producción de cemento y de dosificación de cenizas en la planta de cemento Cemex Colombia.

En este sentido, se trata de un enfoque de investigación exploratorio y descriptivo que tiene como objetivo examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, el cual genera muchas dudas o no ha sido abordado previamente, este enfoque permite al investigador familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos y obtener información sobre la viabilidad de llevar a cabo una investigación más exhaustiva en un contexto específico, además, busca encontrar alternativas para optimizar la producción y aprovechamiento de los recursos en términos de tiempo, en cuanto a su carácter descriptivo, se centra en especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos u otros fenómenos sujetos a análisis, en otras palabras, su objetivo principal es recopilar información o medir de forma independiente o conjunta los conceptos o variables que se abordan (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Este proyecto de corte cualitativo permitirá identificar la optimización de los insumos de producción cementera actual y comparar la optimización con respecto a la adaptación para mejoras en los equipos y plantas de producción.

Recolección y Análisis de Datos

La recolección de datos se llevará a cabo siguiendo un plan preestablecido en donde se especifican los objetivos para tal fin. La recolección de datos se realizará a través de varios instrumentos tales como: Observación directa para la elaboración del diagnóstico inicial y una consulta a los informes digitales generados por la compañía, los cual se encuentran cargados en la página web de Cemex, así mismo se contó con el apoyo de un operario de la planta sobre el funcionamiento y rendimiento de la planta productora de cemento.

Unidad de Estudio o Muestra.

La muestra fue escogida por accesibilidad, dado que se consiguió información a través de un operario vinculado a la compañía.

Fases y Actividades Metodológicas

Objetivos específicos	Actividad metodológica	Técnicas para el tratamiento de la información	Resultados
Diagnosticar el proceso de una planta de producción de cemento de Cemex Colombia, para identificar la problemática de desperdicio de dosificación de ceniza.	Determinar los antecedentes de la empresa, análisis de productos, volúmenes de producción, descripción de los procesos de producción, equipo y maquinaria utilizado, sistema de producción utilizado, Análisis de la información suministrada por los supervisores o encargados de las áreas, Para así obtener los datos necesarios para	Observación e inspecciones de información a través de documentos suministrados por empresa, diálogos al personal y estudio de tiempos y movimientos. Tomar evidencias físicas, informativas y fotográficas.	Identificar y socializar las oportunidades de mejora que podemos realizar.

	<p>continuar con el desarrollo del proyecto.</p> <p>Realizar entrevista con el personal a cargo del proceso de dosificación de ceniza</p>		
<p>Analizar los resultados obtenidos del diagnóstico del proceso de producción en una de las plantas de cemento Cemex Colombia, para plantear una propuesta de mejora.</p>	<p>Examinar los resultados y describir los procesos de producción y dosificación de ceniza, actualmente realizados en la planta de cementos.</p>	<p>Organizar y guardar todos los datos obtenidos en el diagnóstico.</p>	<p>Garantizar que la información obtenida especifique cada uno de los pasos a pasos del proceso.</p>
<p>Presentar una propuesta de mejora que nos permita añadir nuevos equipos al proceso de dosificación en la planta, que pueda controlar cada uno de los problemas que padece actualmente el sistema de dosificación.</p>	<p>Elaboración de la propuesta de un nuevo equipo o maquinaria para la operación de forma adecuada que evite el desperdicio de los insumos o dosificación de ceniza.</p>	<p>N/A.</p>	<p>Propuesta para añadir nuevos equipos para el proceso de dosificación de la planta de cemento Cemex ubicada en Colombia.</p>

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de información.

El presente trabajo utilizará dos tipos fuentes de información, las cuales son primarias y secundarias.

Fuentes de información primarias: Se analizarán los documentos de procedimientos y procesos internos de producción de cemento, proceso de mantenimiento realizado a la planta, entrevistas con operarios de planta.

Fuentes de información secundarias: Se realizará una búsqueda exhaustiva de documentos y publicaciones relacionados con la producción de cemento, así como de textos y artículos relevantes que aborden mejoras en los procesos de producción, además, se llevará a cabo la consulta de teorías ya existentes sobre los procesos de producción en plantas cementeras.

Capítulo I: Diagnostico del proceso de una planta de producción de cemento Cemex Colombia.

En el presente capítulo, se llevará a cabo un exhaustivo diagnóstico del proceso de producción. Para ello, se proporcionará en primer lugar una descripción detallada de la empresa, abordando aspectos generales que ayudarán a contextualizar el análisis. A continuación, se presentará en profundidad el proceso de producción de cemento en la planta de Cemex Colombia, tomando como referencia los datos proporcionados por CEMEX en el año 2018.

Una vez establecido el marco general, se procederá a detallar el diagnóstico propiamente dicho. Este análisis minucioso permitirá evaluar de manera integral todos los elementos que componen el proceso de producción, identificar posibles áreas de mejora y proponer soluciones efectivas. Se analizarán factores como la eficiencia, la calidad del producto, los tiempos de producción, los recursos utilizados y cualquier otra variable relevante que incida en la operatividad de la planta, además, se considerarán los procedimientos y protocolos implementados por la empresa en relación con la gestión de la producción, la seguridad laboral y el cuidado del medio ambiente. Se examinará la coherencia y efectividad de dichas prácticas, buscando identificar oportunidades para optimizar los procesos y promover un desarrollo sostenible en consonancia con las mejores prácticas de la industria, con este diagnóstico en profundidad, se espera obtener una visión clara y detallada del estado actual del proceso de producción de la planta de Cemex Colombia, lo cual servirá como punto de partida para la implementación de mejoras y la consecución de una producción más eficiente, rentable y sostenible en el futuro (Cemex Colombia, 2018).

Generalidades

La compañía CEMEX es una empresa global dedicada a la producción de materiales para la industria de la construcción, su compromiso es ofrecer productos de alta calidad y servicios confiables a clientes y comunidades en todo el mundo, con operaciones en América, Europa, África, Medio Oriente y Asia, CEMEX se encarga de producir, distribuir y comercializar cemento, concreto premezclado, agregados y otros productos relacionados.

Desde su llegada a Colombia en 1996, CEMEX ha desempeñado un papel importante en la industria cementera del país, su presencia ha permitido la producción de materiales de construcción de calidad y soluciones innovadoras, impactando positivamente la calidad de vida de millones de personas en todo el país, y su labor abarca desde la construcción de viviendas para miles de hogares que se forman cada año, hasta la construcción de vías que conectan ciudades, mejorar la vida de los colombianos es una prioridad para CEMEX, sin embargo, la llegada de CEMEX también ha traído consigo un aumento de la competencia, cambios en la forma de vender cemento, cierres de plantas y una dinámica transformadora en la industria del concreto en Colombia, actualmente, el mercado cementero está dominado por tres grandes actores: CEMEX, Holcim (anteriormente Holderbank) y el grupo Argos-Caribe del Sindicato Antioqueño, estos dos grupos, CEMEX y Holcim, lideran la producción mundial de cemento y concreto (Echavarría, 2008).

Sin embargo, durante este tiempo, se han reinventado continuamente buscando la excelencia en los procesos, y el hasta la fecha no ha sido la excepción, desde todo este tiempo continúa desplegando una reestructuración interna que posiciona para satisfacer y mejorar las necesidades cambiantes del mercado moderno, perfeccionar el servicio que presta la compañía a sus clientes y hacer frente al crecimiento en el nivel de actividad en la industria de la construcción (Cemex, 2015).

En la década de los 80 se divide la historia del cemento, Según Dewilde (2008), gerente de producción de Cemex Colombia y uno de sus funcionarios más antiguos en la compañía, recuerda el día en el que de los hornos de la empresa (Cementos Samper) salió la primera pepa de Clinker, esto aconteció el 2 de abril del año 1982 siendo las 8:30 p.m., Dewilde llevaba muchos meses de experimentación y casi 48 horas sin dormir. Gracias a este hallazgo se cambia completamente la forma de producir cemento, Dewilde expresó que “antes se fabricaba por vía húmeda y pudieron hacerlo en seco; así lograron consumir menos energía térmica, generar menos emisiones contaminantes y crear un producto más duradero que los anteriores”, asegurando que “Colombia ha hecho un avance muy importante en esto y por eso el cemento colombiano, hoy supera a los europeos en resistencia.

En Colombia el proceso de fabricación de cemento la producción Clinker, de acuerdo con la mayoría de las plantas manejan la producción por vía seca a excepción de 4 plantas que tienen hornos que manejan la producción por vía húmeda; actualmente en Colombia no se manejan procesos semisecos ni semihúmedos.

Por lo tanto, este crecimiento depende de la efectividad y eficiencia de los procesos de producción desde la extracción de la piedra caliza, el proceso de molienda, el proceso de amasado, y el proceso de molienda del Clinker y la mezcla con el yeso, la caliza y otros materiales hasta obtener el cemento conocido como portland. A continuación, se describe el proceso de producción de cemento:

Proceso de producción del cemento general.

Este proceso inicia con el “*proceso de explotación o extracción de materias primas*” donde se realiza la extracción de la caliza y la arcilla de las canteras de piedra que se obtiene en minas ubicadas en diferentes partes del país, utilizando técnicas de extracción a través de barrenación y detonación con explosivos, cuyo impacto es mínimo gracias a la moderna

tecnología empleada que controla las emisiones de ruido. Seguido al anterior proceso se continua con la “*trituration del material extraído*”, dicho material es llevado a una trituradora o molino vertical de acero que lo muele o lo fragmenta mediante la presión que ejercen tres rodillos cónicos al rodar sobre una mesa giratoria de molienda, también se utilizan molinos horizontales, en cuyo interior el material es pulverizado por medio de bolas de acero, recogándose en una tolva que la recibe, que por efecto de impacto y/o presión son reducidas a un tamaño adaptado para ser transportada a la planta de producción del cemento, donde serán sometidas a un proceso de control de calidad utilizando filtros auto limpiantes mediante tecnología para mezclar de forma proporcional todos los materiales en un proceso de “*homogenización de harina cruda*”, que se realiza en los silos equipados para lograr una mezcla homogénea del material., en ese lugar las calizas y los demás elementos se almacenan continuamente por capas con una capacidad de 10 mil toneladas, esto depende la uniformidad del material.

Posterior a esto con la molienda de harina empieza la fase de producción donde se dosifican materiales a moler de acuerdo a las características químicas, estos materiales son molidos reduciendo su tamaño y procediendo a secarlos para conseguir la harina negra con tamaño adecuado para el proceso de homogenización, utilizan un dosificador para dosificar la harina negra que se va alimentar en el horno rotario de calcinación, el cual cuyo interior tiene una temperatura de 1400 °C, para transformar la harina en Clinker con partículas de 3 a 4 cm.

La imagen 1, ilustra como es el paso a paso descrito de la producción del cemento en su etapa previa.

Imagen 1: *Procesamiento de extracción y molienda de la materia prima*



Fuente: Dirección de desarrollo comercial – Cemex (2013).

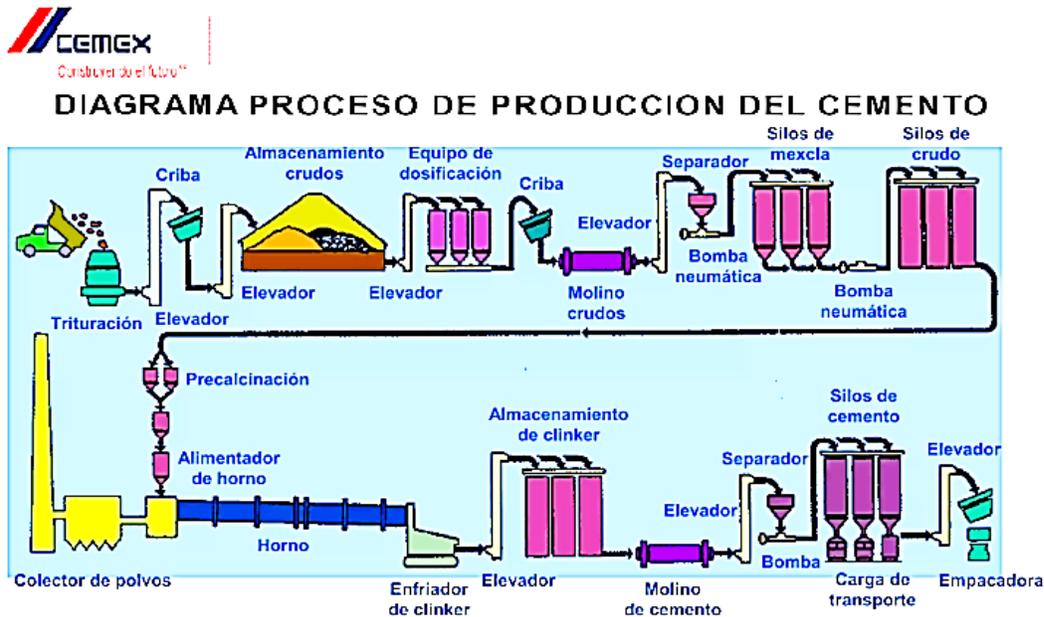
De la misma forma el Clinker entra en *proceso de molienda* donde se mezcla con yeso, caliza y otros materiales para alargar el tiempo de fraguado del cemento, hasta obtener el cemento conocido como portland, por su similitud al cemento endurecido parecido a una piedra londinense con el mismo nombre.

Luego va a un amasador donde le agregan el 12% al 13% de agua, que le permite en el plato nebulizador hacer nódulos con diámetros de 5 a 10 mm, con lo que se alimenta el horno para la clinkerización.

Finalmente se procede con el “*envasado y embarque del cemento*”, donde este es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos.

A continuación, en la imagen 2, Se describe el proceso ya descrito de producción de cemento.

Imagen 2: Diagrama del proceso de producción de cemento



Fuente: Dirección de desarrollo comercial – Cemex (2013).

El diagrama antes ilustrado, tiene unas ventajas significativas en comparación con otros procesos de producción cementera y es que permite:

- ✓ Aprovechamiento racional de la energía.
- ✓ Conservación del medio ambiente.
- ✓ Producto uniforme.
- ✓ Entrega oportuna.

También se resalta que con este proceso de producción se han obtenido mayores alternativas para satisfacer las necesidades del mercado.

Proceso de producción Abreviado

Se detallará brevemente el proceso a través de los siguientes pasos:

Paso 1. Explotación de las materias primas: de las canteras de piedra se extrae la caliza y la arcilla a través de barrenación y detonación con explosivos, cuyo impacto es mínimo gracias a la moderna tecnología empleada.

Paso 2. Transporte de materias primas: una vez que las grandes masas de piedra han sido fragmentadas, se transportan a la planta en camiones o bandas.

Paso 3. Trituración: el material de la cantera es fragmentado en los trituradores, cuya tolva recibe las materias primas que por efecto de impacto y/o presión son reducidas a un tamaño máximo de una y media pulgadas.

Paso 4. Pre-homogenización: es la mezcla proporcional de los diferentes tipos de arcilla, caliza o cualquier otro material que lo requiera.

Paso 5. Almacenamiento de materias primas: cada una de las materias primas son transportadas por separado a silos en donde son dosificadas para la producción de diferentes tipos de cemento.

Paso 6. Molienda de materia prima: se realiza por medio de un molino vertical de acero, que muele el material mediante la presión que ejercen tres rodillos cónicos al rodar sobre una mesa giratoria de molienda. Se utilizan también para esta fase molinos horizontales, en cuyo interior el material es pulverizado por medio de bolas de acero.

Paso 7. Homogenización de harina cruda: se realiza en silos equipados para lograr una mezcla homogénea del material.

Paso 8. Calcinación: la calcinación es la parte medular del proceso, donde se emplean grandes hornos rotatorios en cuyo interior, a 1400°C la harina se transforma en Clinker, que son pequeños módulos gris oscuros de 3 a 4 cm.

Paso 9. Molienda de cemento: el Clinker es molido a través de bolas de acero de diferentes tamaños a su paso por las dos cámaras del molino, agregando el yeso para alargar el tiempo de fraguado del cemento.

Paso 10. Envase y embarque del cemento: el cemento es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos.

Se presenta a continuación el diagrama de flujo del proceso productivo de cemento gris en la cementera Cemex Colombia:

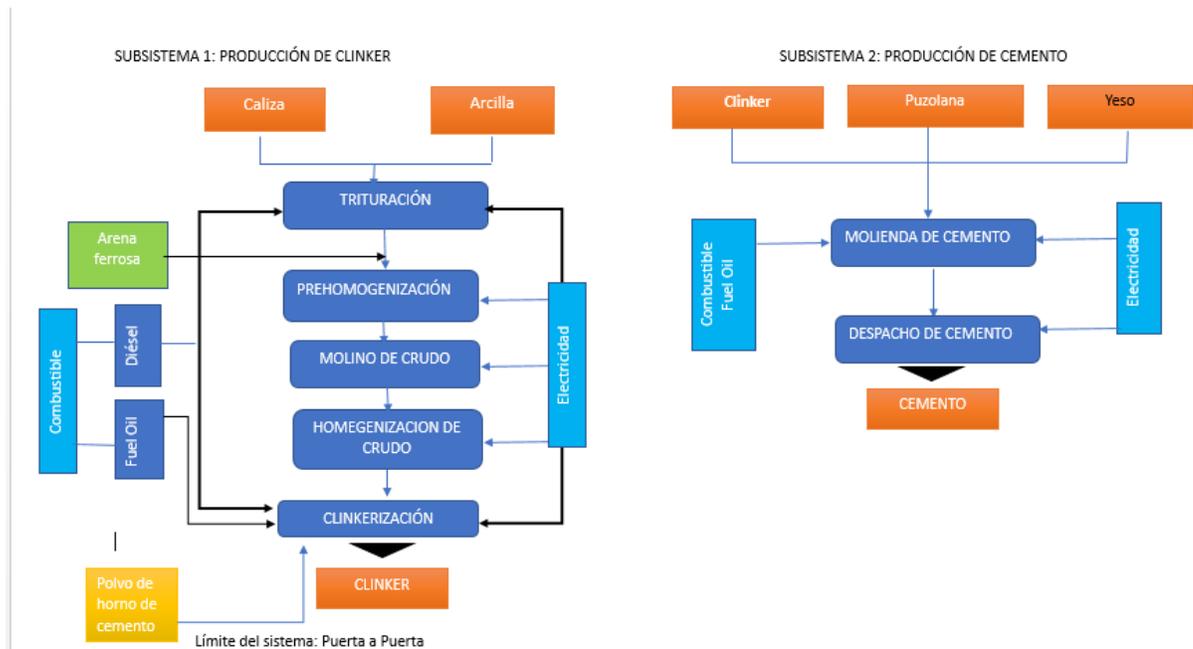
Tabla 2: Diagrama de flujo de producción de cemento gris en la planta Cemex Colombia.

No	DESCRIPCIÓN PROCESO	SIMBOLO						OBSERVACIONES
1	Explotación de las materias primas	○	⇒	▽	D	□	□	Control de materias primas
2	Transporte de materias primas	○	⇒	▽	D	□	□	Control de transporte
3	Trituración	○	⇒	▽	D	□	□	
4	Prehomogenización	○	⇒	▽	D	□	□	Control prehomogeneización
5	Almacenamiento de materias primas	○	⇒	▽	D	□	□	Control de almacenamiento
6	Molienda de materia prima	○	⇒	▽	D	□	□	Control de molienda
7	Homogenización de harina cruda	○	⇒	▽	D	□	□	Control de homogeneización
8	Calcinación	○	⇒	▽	D	□	□	Control de calcinación
9	Molienda de cemento	○	⇒	▽	D	□	□	
10	Transporte	○	⇒	▽	D	□	□	
11	Almacén	○	⇒	▽	D	□	□	
12	Envasado	○	⇒	▽	D	□	□	Control de envase
13	Embarque del cemento	○	⇒	▽	D	□	□	Control de embarque

Fuente: Propia autoría

Los símbolos empleados en el diagrama de flujo del proceso de producción de la cementera Cemex representan una actividad en particular dentro del proceso. La relación entre los símbolos y las actividades.

Imagen 3. Diagrama de flujo del proceso de producción de cemento.



Fuente: Propia autoría

Condiciones actuales de la producción cementera, el comportamiento de la empresa ante el mercado y los aspectos a mejorar en todos los procesos de la compañía (Ver tabla 1).

Tabla 3: Matriz DOFA de Cemex Colombia.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
	<ol style="list-style-type: none"> 1. La compañía trabaja en base a los sistemas de gestión de calidad ISO 9001, 14001 (Medio ambiente) y OHSAS (riesgos laborales). 2. Posen sistemas de información y producción con tecnología de punta para asesoría a los clientes. 3. Cuenta con programas de capacitación constante para el empleado. 4. Trabaja en función de maximizar la eficiencia operativa, cuenta con la fundación Cemex la cual fomenta la investigación científica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La actividad de transporte marítimo y terrestre de cemento emite promedio 7,2 kg de co2 por cada tonelada de material movido. 2. Altos niveles de endeudamiento en comparación a sus principales rivales en la industria. 3. Diversificación geográfica lo cual genera volatilidad en las utilidades. 4. Expediente regulación de empleos ERE. 5. Cierre de plantas cementeras.

	5. Alianzas estratégicas a nivel mundial con firmas para el desarrollo de negocios electrónicos.	
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
1. Posibilidad de establecer alianzas estratégicas con otras industrias del sector de la construcción.	1. Concretar la fusión con otras empresas del sector con el objetivo de convertirse en el líder del mercado (F1, F2, F4, O1, O2).	1. Invertir en tecnologías alternativas para disminuir el nivel de CO2 que se consume en la actividad de transporte (D1, O1, O5)
2. Incremento de la demanda de productos y servicios en los mercados del Mediterráneo.	2. Incursionar agresivamente en el mercado mediterráneo, mediante campañas que promocionen la calidad de los productos y la amplia gama de servicios y asesoría que ofrece Cemex (F1, F2, O2, O1).	2. Incursionar en nuevos mercados con el fin de incrementar los ingresos y amortizar los niveles de endeudamiento (D2, D3, O2)
3. Demanda de construcción informal (clientes individuales o minoristas que construyen sus casas).	3. Invertir en proyectos de investigación acerca del uso de materias primas sustitutas para ofrecer materiales de construcción orientados hacia viviendas más asequibles y eficientes (F4, O3).	3. Continuar las investigaciones sobre explotación de cemento y producción ecológica de sus derivados satisfaciendo la demanda del mercado existente. (D1, O5)
4. Demografía creciente y mayor urbanización, Esto requerirá más construcciones e infraestructura.	4. Optimizar los planes de crecimiento, y el manejo de los ciclos productivos para garantizar el ahorro efectivo de costos, apoyados en el desarrollo de nuevos productos amables con el medio ambiente (F1, O5)	4. Minimizar el cierre total de las plantas generando ciclos de producción según la demanda, por zona geográfica y por derivados de alta rentabilidad y fácil colocación en el mercado. (D3, D4, D5, O1, O4)
5. Aumento de la demanda de productos que minimicen el daño ambiental.	5. Mantener la constante capacitación del personal de la compañía y prepararlos a enfrentar los retos del mercado cambiante. (F3, O1, O3)	
AMENAZAS	ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
1. Endurecimiento constante en las regulaciones y controles ambientales, lo que generan grandes costos en la industria	1. Invertir en proyectos de uso de alternativas energéticas, materias primas sustitutas, y productos reciclados que ayuden a disminuir los costos de producción, y contribuyan a cumplir regulaciones ambientales. (A1, F3, F4)	1. Revisar las políticas de despido de personal por cierre involuntario de plantas, evaluar términos, indemnizaciones salariales para garantizar la estabilidad de los empleados afectados (D4, D5, A1, A2).
2. Reformas legales que afectan los costos de producción		

<p>3. Fusiones de grandes empresas en Europa (Lafarge y Holcim).</p> <p>4. Lento crecimiento del sector en países que forman parte del mercado más importante de Cemex.</p> <p>5. Multas y sanciones derivadas de una regulación de precios, en su principal mercado de Exportación, Estados Unidos.</p>	<p>2. Impulsar proyectos de innovación para lograr productos de alta calidad con elementos diferenciadores a los de la competencia (A3, A4, F2, F4)</p> <p>3. Establecer alianzas y convenios con el gobierno y con empresas de la construcción para impulsar el crecimiento del sector. (A4, F2)</p> <p>4. Gestionar nuevas opciones de minimización de costos y aprovechar la demanda de combustibles no tradicionales para lograrla</p>	<p>2. Evaluar políticas de reducción de precios ante las crisis. (D3, A4)</p> <p>3. Incursionar en estrategias de ventas de materia prima y derivados en negocios internacionales, a precios competitivos y con demanda constante que minimicen significativamente los niveles de endeudamiento de la compañía. (D2, D3, A3,A4)</p> <p>4. Aprovechar las nuevas tendencias de compra para ofrecer los productos de la compañía por</p>
--	---	--

Fuente: Cemex Colombia

Lo anterior nos lleva hacer el siguiente diagnostico utilizando el PEST para identificar aspectos importantes representativos, capacidades y recursos utilizados por la compañía:

Tabla 4: Matriz PEST.

	O	A	F	D
P	a) La existencia de diversas cementeras administradas por el gobierno de cada país. b) Países con desarrollo de infraestructura vial y subsidios para la adquisición de vivienda (países asiáticos).	a) Las políticas de aranceles en el proceso de importación y exportación. b) Reformas legales que afectan los costos de producción.	a) Colaboración gubernamental. b) Análisis político integrado a su estrategia de internacionalización (riesgo político 35%).	a) Desconocimiento del marco regulatorio al ingresar a un nuevo mercado.
E	a) Inversión en mercados que ofrecen bases sólidas para el crecimiento. b) Generar un crecimiento rentable en una industria global dinámica en consolidación.	a) Incremento de los aranceles como medida proteccionista con impacto en el precio del producto. b) fortalecimiento de competidores a través de alianzas estratégicas (lafare y holcim). c) Afectación del mercado por fluctuación del dólar .	a) Gran capacidad de inversión para realizar adquisiciones de nuevas empresas en las zona proyectadas para su crecimiento geográfico, en los distintos mercados internacionales. b) Capacidad para estructurar programas de inversión. c) La habilidad para comprender a fondo y adaptar los productos y servicios en los distintos mercados. d) CEMEX cuenta con un área de Gestión de Riesgos Corporativos (GRC) que gestiona los riesgos y oportunidades que podrían tener un impacto sobre los objetivos de la empresa.	a) Las deudas muy altas en comparación con la competencia. a) Fuerte competencia con los mercados locales. c) Inversiones innecesarias (integración horizontal). e) La tediosa operatividad para el majeo de las filiales a nivel internacional. e) Tener que depender de terceros para obtener materia prima.
S	a) La incorporación de las nuevas adquisiciones y generar empleos a la sociedad del area de operación. b) Inversion social en zonas cercanas a los lugares de operación generando desarrollo a las poblaciones locales y sostenibilidad.	a) Los controles a la biodiversidad y el medio ambiente.	a) Un programa de capacitación constante para empleados. b) Un eficiente programa de control de riesgos laborales. c) Inversiones y desarrollo de programas ambientales. d) Desarrollo de programa de MBA en alianza con el tecnológico de monterrey para ejecutivos. e) Actitud socialmente responsable con las personas y el medio ambiente.	a) Riesgo de accidente laboral. b) El impacto ambiental debido al traslado de cada tonelada de cemento emite gran cantidad de Co2, sea cual sea el medio de transporte. c) Reduccion de personal por implementación de tecnología
T	a) Desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas de informacion comunicación.	a) La logística para cumplir con la capacidad demandada y distribuir materias primas y productos finales.	a) Proyección e inversión tecnológica a largo plazo por parte de sus directivos (ventaja competitiva). b) Transformación digital con IBM diseñando y desarrollo de aplicaciones móviles que impactan en la interacción con los clientes con CEMEX. d) Cultura innovadora. e) Diseñar nuevas fórmulas para el desarrollo de un nuevo producto o servicio.	

Fuente: Interpretación propia; Rodríguez K. (2016), Matriz DOFA Cemex.

Al hacer este análisis podemos identificar que Cemex se ha convertido en una de las multinacionales de Latinoamérica más grandes a nivel internacional por su gran capacidad de adquisición de filiales que incrementan su capital en patrimonio, también se evidencia que cuenta con una alianza estratégica con IBM para el diseño de aplicativos que permiten una mejor conexión tanto con el cliente interno como externo, gracias al uso de las tecnologías de comunicación e información. En cuanto a los procesos logísticos y de producción a establecido un sistema de riesgos, para evitar caer en situaciones tanto laborales, financieras y de afectación del servicio al cliente. Al querer incursionar en nuevos mercados que se ha encontrado con algunas barreras de tipo políticas, legales y arancelarias, pero esto no ha sido obstáculos para lograr incursionar en los mercados internacionales.

Capítulo II: Análisis de los resultados del proceso de producción de cemento de la planta de cemento Cemex Colombia.

A continuación, al analizar los resultados obtenidos del diagnóstico sobre los procesos de producción de cemento, se identificaron algunos aspectos de mejora y poder proponer la optimización y funcionamiento del proceso de producción que se maneja actualmente.

Teniendo en cuenta que el mercado de la industria cementera va en constante crecimiento y la competencia es más competitiva, CEMEX insiste en sobresalir en este mundo globalizado y por ende extremadamente cambiante, la compañía necesita forzosamente de un "plus" en todos los aspectos, pero esta exigencia extra que se llama ventaja competitiva, en el ámbito empresarial es obligatorio alcanzarla y necesaria, hasta el punto de tener supremamente clara la forma de utilizarla, el momento, hora y lugar adecuado para aprovecharla al máximo.

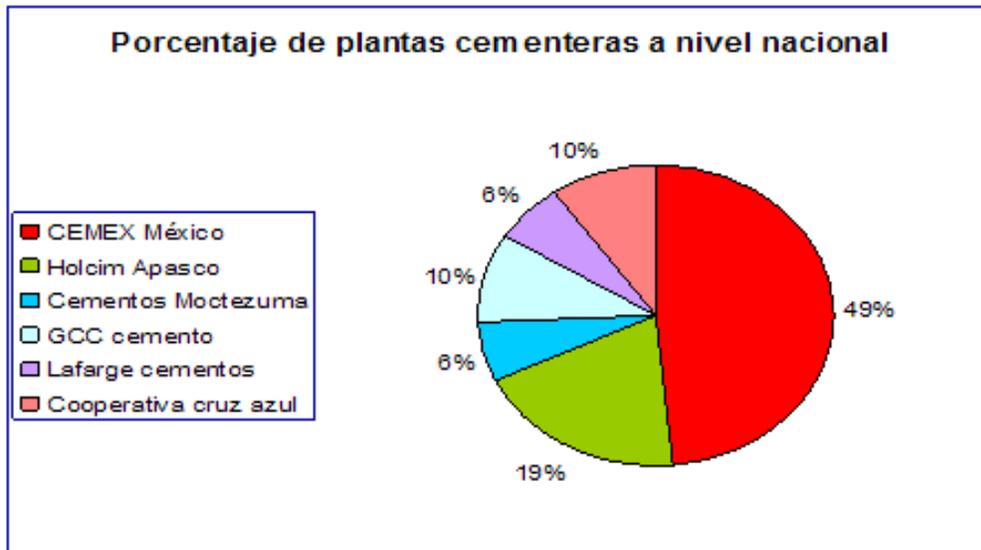
Cuando se hace referencia a la "ventaja competitiva" se entiende que es la situación o circunstancia que da preferencia competitiva a una empresa en una actividad concreta, a esas diferencias que le permiten crear a la empresa una ventaja, adelantándose a la competencia y superándola (Cemex, 2021). Por lo anterior, la compañía utiliza como herramienta para autoevaluarse un análisis DOFA de sus debilidades y fortalezas, e identificar cuáles son sus amenazas frente a la competencia y cuáles son esas oportunidades de poder crecer y ser más competitiva como una compañía global, y teniendo en cuenta el análisis de estas para obtener resultados óptimos y que se puedan lograr alcanzar las metas propuestas.

La dinámica de la industria del cemento se enlaza con el de la construcción, actividad que a su vez depende estrechamente de las decisiones de política económica, sobre todo en materia de inversión a causa de los cuantiosos montos de capital necesaria para los fabricantes de cemento, por lo que se podría afirmar que la industria del cemento es un reflejo fiel de la

evolución económica general, a producción y las ventas de producto y viceversa (EconLink, 2021).

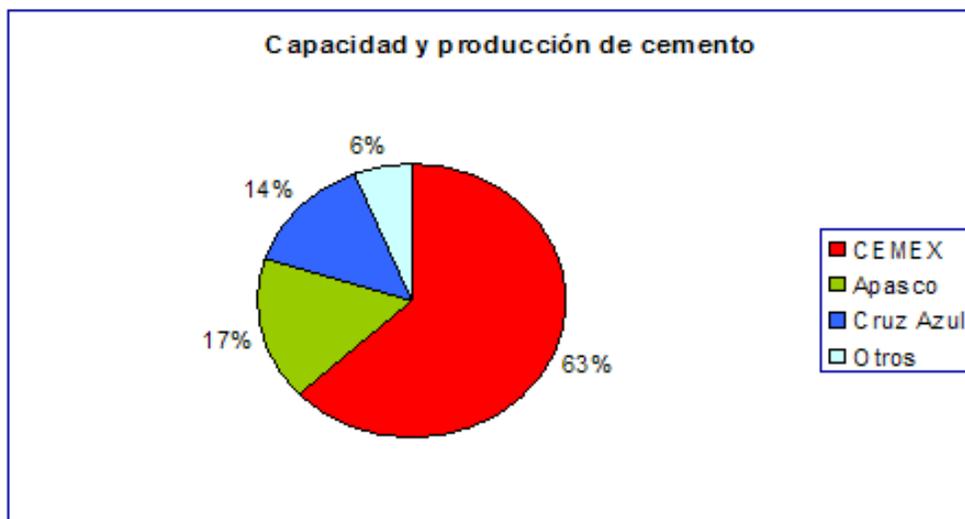
Según la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), la relación de plantas cementeras en el país por número y entidad federativa de México es la siguiente:

Gráfico 3: *Porcentaje de plantas en crecimiento de Cemex en comparación con otras industrias.*



Fuente: CANACEM, 2017.

Gráfico 4: *Capacidad y producción de cemento*



Fuente: CANACEM, 2017.

CEMEX no solamente posee la mitad de las plantas cementeras instaladas en el país, las cuales generan el 63% de la producción nacional de cemento, sino que también posee uno de los *clusters* (concentración de empresas en una zona geográfica relativamente definida, de modo de conformar en sí misma un polo de conocimiento especializado con ventajas competitivas) más grandes de cemento del mundo, situado en Baja California Norte, México (EconLink, 2021).

De acuerdo con lo antes expresado, el incremento y el propósito de Cemex de buscar expandirse ha sido un logro significativo, dado que la industria en el resto de latino América ha crecido, se ha visto impactada para el año 2022 por el aumento de la inflación a nivel mundial y las perspectivas de crecimiento económico global se han visto afectadas por el alza en las tasas de interés, disminución del gasto fiscal e incertidumbre geopolítica (Banred, 2022).

El aumento en el costo de vida ha reducido la capacidad adquisitiva y la confianza de consumidores e inversionistas, con efectos negativos sobre la demanda. Según estimaciones del Fondo Monetario Internacional (FMI), el Producto Interno Bruto (PIB) mundial crecería 3,2% en 2022 frente al 6,0% de 2021, afectado principalmente por un menor crecimiento de Estados Unidos, el cual se proyecta que crezca 1,6% al cierre de 2022. Para América Latina y el Caribe, se estima que el PIB crecerá 3,5%⁵ durante el 2022 (Fondo Monetario Internacional [FMI], 2022).

Dentro del entorno internacional, la economía colombiana ha sorprendido favorablemente a lo largo del 2022, presentando un crecimiento de 10,6% durante el primer semestre del año, según el Departamento Nacional de Estadística (DANE). Así mismo, según proyecciones del Banco de La República, se espera que el PIB nacional cierre el año con una variación del 7,8%, uno de los crecimientos más altos de América Latina para el año 2022 (Dane, 2022).

El buen desempeño de la economía colombiana es resultado de la fortaleza de la demanda interna y los mayores precios de los *commodities*, que han favorecido las exportaciones. El

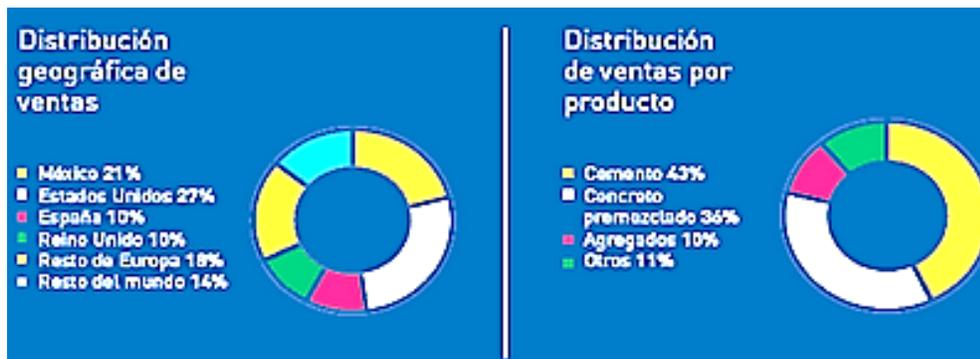
consumo de los hogares registró un crecimiento del 11,6% en el periodo enero - septiembre, soportado por la recuperación del empleo y la amplia disponibilidad de crédito. La cartera de consumo creció 20,7% en términos anuales en el mes de septiembre de 2022, mientras que el desempleo en su serie estacional se ubicó en el 11,0% en septiembre de 2022, por debajo de su nivel prepandemia (11,1% en septiembre de 2019) (Banco de la República de Colombia, 2022).

Las cifras anteriormente mencionadas sobre el índice de inflación en Colombia, impacto por un lado a la producción de cemento y concreto para Cemex, pero este fue bajón de la producción se vio aliviado, por los contratos adquiridos de la compañía con el estado colombiano en la construcción de viviendas impulsada por los programas de subsidios del Gobierno Nacional para la compra de estas y las bajas tasas de interés hipotecarias de los últimos dos años; el programa de subsidios a la compra de vivienda fue establecido en el año 2020 para reactivar la economía, y consistió en un paquete de 200 mil subsidios para cobertura a la tasa de interés hipotecaria y cuota inicial, los cuales se distribuirían en 100 mil subsidios para el segmento VIS y 100 mil subsidios para el segmento No VIS (Cemex, 2022).

Sin embargo y a pesar del enorme potencial del clúster, CEMEX se ha enfrentado a situaciones que se han tornado en debilidades y amenazas, de aquí surge un breve análisis DOFA:

Dentro de sus fortalezas Cemex, tiene presencia en más de 50 países en cuatro continentes, con una capacidad de producción de cemento de más de 98 millones de toneladas métricas al año, se ha convertido en líder en los mercados de concreto premezclado y agregados.

Gráfico 5: Distribución en ventas geográficas y por productos a nivel global.



Fuente: Cemex, 2020.

Sus ventas anuales rebasan los 15 mil millones de dólares, tiene a más de medio millón de empleados en todo el mundo y mantiene relaciones comerciales con más de 120 países.

Sin embargo, para ser la más grande del mundo a Cemex con Rinker (la empresa cementera australiana más grande) en sus manos, Cementos Mexicanos toma la posición como la empresa que más vende materiales para la construcción en el orbe, y mantiene la segunda posición como el segundo mayor productor de cemento.

Sin embargo, aunque la compañía cementera ha tenido gran éxito en los países donde ha incursionado, también tiene debilidades que mejorar y estas se analizaron de la siguiente forma:

- ✓ En cuanto a la capacidad baja de la actividad de transporte marítimo y terrestre de cemento, al emitir en promedio 7,2 kg de CO_2 por cada tonelada de material movido, impacta negativamente al medio ambiente, es importante resaltar que para el año 2022, logró una disminución del 31% de las emisiones de CO_2 . De igual manera, expresan que seguirán comprometidos con ser una empresa referente en circularidad y sostenibilidad del medio ambiente, avanzando a grandes pasos e impulsando la integración de elementos tecnológicos, operativos y comerciales que permitan reducir las emisiones de CO_2 (Cemex Colombia, 2022).

- ✓ Los altos niveles de endeudamiento en comparación a sus principales rivales en la industria, también se convierten en una amenaza para las pequeñas plantas que se crean debido a que la deuda es generada por el mismo sistema estratégico de compra de plantas de cemento casi en quiebras, lo que implica un alto costo de reestructuración de esta.
- ✓ Diversificación geográfica lo cual genera volatilidad en las utilidades, aunque en el año 2022 este indicador ha mejorado, registrando una utilidad en miles de COP \$1.254.754.574. Se propone a la Asamblea General de Accionistas de la Compañía liberar las reservas ocasionales no gravadas por un valor en miles de COP \$ 651.017.247 que, adicionadas a las utilidades del 2022, corresponderán al total de utilidades no gravadas susceptibles de distribución por un valor total en miles de COP \$ 1.905.771.820, de las cuales se propondrá distribuir el 82% para un equivalente en miles de COP \$ 1.562.732.893. El remanente sin distribuir se trasladará a reserva ocasional no gravada por valor en miles de COP \$ 343.170.611. (Cemex, 2022).
- ✓ Cierre de plantas cementeras, en este aspecto Cemex en 2020 se vio obligada a cerrar dos de sus plantas por una demanda recibida, por los altos índices de CO₂, la nueva regulación europea de emisión de CO₂, donde se presentaron despidos y grandes pérdidas. Las fábricas con el cierre anunciado son la almeriense de Gádor y la balear de Lloseta, con un total de 200 empleados, lo anterior dio origen al expediente ERE.
- ✓ Averías en una planta de Colombia, generando una serie de desperdicio de ceniza que se esparce provocando una nube de polvo en todo el lugar de operación de la planta, esto afecta la dosificación de ceniza, sin que a la fecha no se hayan tomado correctivos al problema de la planta, ya que este problema contamina la zona y vegetación del lugar, y puede ocasionar problemas pulmonares a los operadores de la planta al adsorber el material que sale de ella.

Ventaja Competitiva:

Su ventaja competitiva es la de comprar o fusionar otras empresas de cemento, lo que incrementa el tamaño de la empresa — o de las unidades estratégicas de negocios —, lo que le otorga la ventaja de "economías de escala"; sin embargo, esta transnacional mexicana utiliza estrategias puras y particulares que van más allá del tamaño de empresa: "liderazgo de costos" que normalmente implica sistemas de control muy estrechos, minimización de gastos generales, seguimiento de economías de escala y dedicación a la curva de aprendizaje que se refiere a "la eficiencia conseguida a través del tiempo por los trabajadores, después de muchas repeticiones" (Cemex, 2019).

Así, Cemex se caracteriza por la implementación de elementos tecnológicos que permitían controlar las operaciones de la compañía y mejorar los tiempos de rotación del dinero.

Entonces cabe destacar la magnitud de esta empresa y lo impresionante de cómo es que esta empresa transnacional CEMEX se desarrolló dentro de los mercados locales a nivel mundial a través de la estrategia económica (economías de escala y alianzas) y así logro crecer de esta manera. Su experiencia y desarrollo en el mercado local mexicano le permite desarrollar en los distintos países su estrategia, logrando conseguir resultados exitosos y así llegar a sus metas.

Evidencia de lo antes expresado, son los siguientes indicadores presentados en Colombia, al cierre de septiembre de 2022, el programa 4G cuenta con un avance de obra superior del 68%. De los 29 proyectos 4G con una inversión de \$44 billones de pesos, 5 proyectos se encuentran finalizados, 11 con un avance de obra superior al 80%, 10 proyectos en etapa de construcción y 2 sin iniciar¹⁹. Por su parte, el programa de infraestructura 5G en la Primera Ola se compone de 15 proyectos, con una inversión por \$20,4 billones de pesos²⁰. Actualmente, la ANI ha adjudicado los 6 proyectos viales de la Primera Ola: Malla vial del Valle del Cauca, Al Sur,

Troncal del Magdalena 1 y 2, Accesos Norte 2 y Buga-Buenaventura. De estos proyectos, la Malla vial del Valle ya cuenta con cierre financiero, el resto de las iniciativas se encuentra en proceso de licitación (Cemex, 2022).

La buena dinámica en las ventas de cemento ha estado impulsada por los segmentos formales, particularmente en el segmento residencial. Este comportamiento ha estado asociado a la buena dinámica de las ventas de cemento granel, las cuales registran un crecimiento anual del 12,5% en el acumulado al mes de septiembre de 2022, mientras que las ventas de cemento empacado presentan una desaceleración, con un crecimiento de 2,8%, asociado a la menor dinámica de ventas en el segmento de autoconstrucción (DANE, 2022).

Gráfico 6: Ventas de cemento en Colombia durante el periodo (2011- 2022).



Fuente: DANE, 2022.

En este sentido, La buena dinámica de crecimiento estaría explicada por la fortaleza de la demanda interna, particularmente por el consumo de los hogares y los altos precios de los commodities que han favorecido al sector exportador.

A nivel externo, los riesgos respecto al crecimiento continúan latentes. Un recrudecimiento de la guerra de Ucrania-Rusia podría derivar en mayores presiones inflacionarias, llevando a mayores incrementos en las tasas de interés y una desaceleración más

pronunciada de la economía global frente a lo inicialmente esperado. Finalmente, para la industria de cemento, se estima que para lo que resta del año 2022, haya un crecimiento en la demanda del 4,5%, impulsado principalmente por el buen ritmo de inicios de vivienda. Ante este retador entorno, se apalanca en las capacidades organizacionales, como lo son el foco en el cliente, la innovación y el trabajo hacia la excelencia, para tomar ventaja de las oportunidades de mercado y así generar valor a los accionistas y a toda la cadena de la construcción.

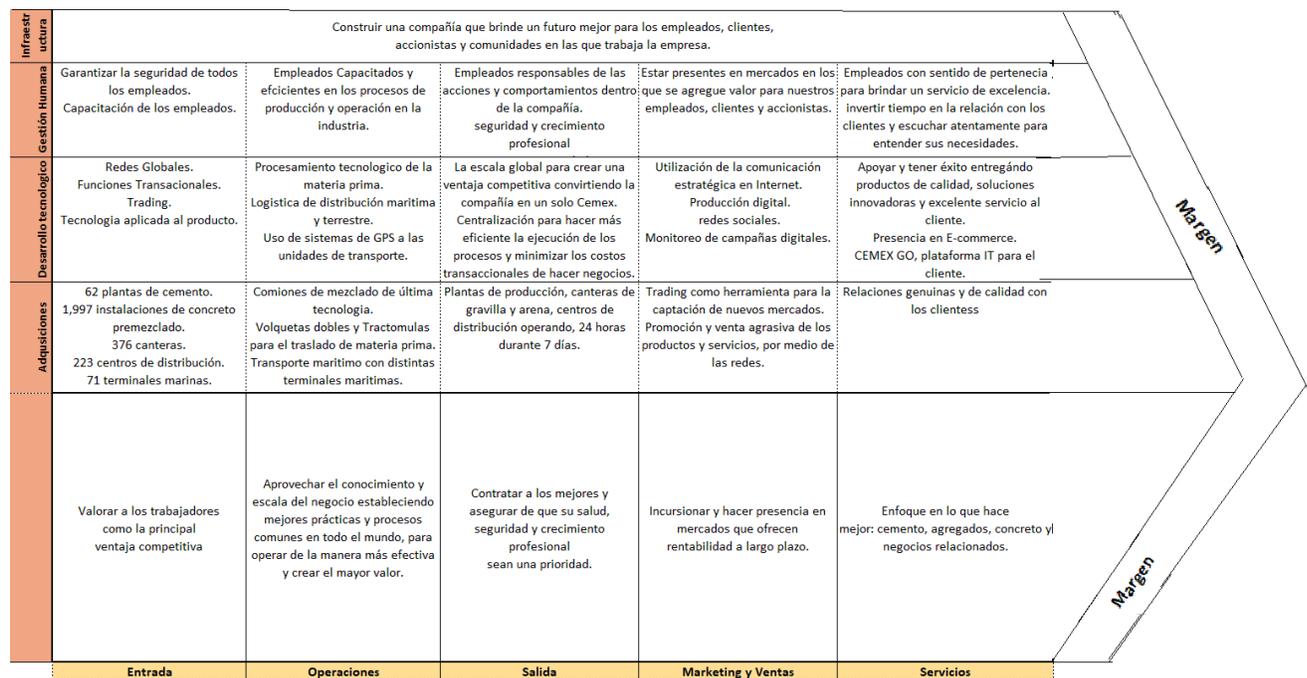
De igual manera, se sigue fortaleciendo y creciendo en ofertas de valor para brindar la mejor experiencia a los clientes Cemex para ser la marca preferida del mercado. se prioriza la salud y la seguridad de los empleados, clientes, proveedores, comunidades y demás actores, para ser un lugar seguro y saludable para trabajar, a través de la mejora continua y nuevas acciones orientadas a la prevención de incidentes y a mantener la salud de nuestros empleados y contratistas. A su vez, impulsa más y aún mejores acciones para reconocida como la mejor empresa para trabajar, siendo referentes en contar con un entorno más diverso e inclusivo con los colaboradores. De igual modo, seguiremos comprometidos con ser una empresa referente en circularidad y sostenibilidad del medio ambiente, avanzando a grandes pasos e impulsando la integración de elementos tecnológicos, operativos y comerciales que permitan reducir las emisiones de CO2.

En tal sentido, se hace una descripción del modelo operativo de CEMEX dentro de la cadena de valor desarrollado para garantizar que cada una de las funciones a los niveles corporativo, regional y de las unidades de negocio de cada país se unan en la consecución de un objetivo en común.

La cadena de valor Cemex, A través de la ejecución local de este modelo, las unidades de negocio son los que ofrecen el mayor valor a los clientes y crean el mayor valor para CEMEX. La cadena de valor representa el centro del negocio y tiene la responsabilidad sobre las ganancias y pérdidas, como parte central de la empresa, las unidades de negocio son una plataforma en la que el equipo ejecutivo realiza e implementa iniciativas de valor para los grupos de interés, ósea que las unidades de negocio convierten la estrategia en resultados a través de la cadena de abasto, desde el abastecimiento de materias primas hasta la entrega de los productos y soluciones, incluyendo todas las interacciones con los clientes, proveedores y comunidades, conectados a través de las distintas Redes Globales (Cemex, 2019).

El enfoque al cliente es una de las mayores prioridades, el uso de la Red Global crea relaciones sólidas con los clientes y construye los cimientos para lograr asociaciones duraderas (Cemex, 2019).

Imagen 4: Cadena de Valor Cemex general



Fuente: CEMEX, Estrategia integrada para un mejor futuro, reporte integrado, 2019.

Análisis del diagnóstico PEST.

Los análisis del PEST rodean el ambiente empresarial, este hace referencia al entorno Político, Económico, Social y Tecnológico, lo cual permitió identificar las variables más importantes que de una u otra forma tienen incidencia en el medio donde opera esta y todas las organizaciones que existen en el mercado y de aquellas que puedan llegar a crearse a futuro. En este sentido se empieza por analizar los aspectos políticos tal como se desarrolla a continuación:

Aspectos políticos: Teniendo en cuenta que la empresa Cementos Cemex pertenece al sector de la construcción, este ha sido y sigue siendo un importante sector jalonador de la economía nacional, se hará especial énfasis en ésta área por cuanto el gobierno nacional en cumplimiento del artículo 51 de la Constitución Política donde consagró el derecho de todos los colombianos a tener una vivienda digna y estableció que el Estado es quien fija las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda, por lo tanto este gobierno tiene por objeto la construcción de grandes proyectos (no solo en vivienda sino en otros frentes) tal como se describen a continuación:

Proyecto de vivienda mi casa ya, se trata de un novedoso programa del Gobierno Nacional para facilitar la compra de vivienda a las familias colombianas. El programa está dirigido a hogares con ingresos entre 2 y 4 salarios mínimos (\$1.288.700 - \$2.577.400) a los que el Gobierno les subsidiará la cuota inicial de su vivienda, con valor superior a 70 SMLMV (\$45.104.500) e inferior a 135 SMLMV (\$86.987.250), y subsidiará además la tasa de interés del crédito que contraten con el banco de su elección, (Ministerio de vivienda, 2018, p. 1).

El gobierno actual también le apuesta al área de la vivienda digna la cual tiene como plan la construcción de las 100.000 viviendas gratis y las 85.000 viviendas sociales para estratos entre

1 y 2 SMLV. También programas para la adecuación de vías, generando más empleos y entregando a los colombianos vías de primera calidad al final de ésta década, (ANI. Agencia Nacional de Infraestructura, 2015, p. 3). Así mismo, Más de 40 nuevas concesiones de cuarta generación de concesiones; se transformarán 8.000 km de vías, con más de 1.200 km en doble calzada para 29 llegar a un total de 3.500; inversión de más de \$47 Billones de pesos (ANI. Agencia Nacional de Infraestructura, 2018, p. 3).

Con el propósito de mantener un crecimiento económico sostenido y una mayor competitividad de las empresas del sector, es necesario contar con talento humano bien formado, capacitado y con competencias personales que le permitan asumir con transferibilidad, el Sena en el marco de SNFT (sistema nacional de formación para el trabajo) consolida en el año 2012 la mesa sectorial y base de datos de personas que buscan empleo. (SENA, 2018).

Una *amenaza* importante de considerar son las constantes reformas tributarias que hacen los gobiernos de turno, el país no presenta estabilidad en este sentido y por lo tanto es una variable que deben tener presentes las empresas al hacerse proyecciones a mediano y largo plazo, obsérvese que para el año 2006 dicho impuesto estaba en el 38.5%, hoy en día (año 2018), se encuentra en el 25% (según la reforma tributaria – ley 1607 de 2012), si bien es cierto que ha presentado una disminución de este impuesto de manera gradual en los últimos 10 años, es posible, por la misma incertidumbre y el déficit fiscal que presenta la nación que este impuesto vuelva a subir.

La caída de los precios del petróleo es una mala noticia para todos los países productores, no solo para Colombia. Sin embargo, en el país ésta desvalorización, que supera el 30% en los últimos meses, es el ingrediente que faltaba para crear una tormenta perfecta por la que deberá navegar la economía, al menos, durante el 2018 - 2019. En estas palabras lo puso el presidente de la Asociación Colombiana del Petróleo, ACP, Francisco Lloreda: “Si fueran solo los precios

no sería tan grave, pero en Colombia a eso le tiene que sumar los altos costos operativos y ahora la reforma tributaria, eso da una mezcla de factores que pintan un panorama perverso”, (Portafolio, 2018, p.1). Ahora, con una reforma tributaria que aumentará la carga fiscal del sector hasta el 43 por ciento, estos costos aumentarán considerablemente. “La tendencia de las compañías ante este panorama (caída de precios y reforma tributaria) podría ser, además del recorte en gastos de operación, la priorización de proyectos de aumento o sostenimiento de la producción para obtener flujo de caja que les permita sostener su operación en el país”, explicó la ACP, (Portafolio, 2018, p.1).

Aspectos del entorno económico: Dadas estas condiciones, se puede decir que, Colombia es de los países que más crece en la región, e incluso, a nivel internacional. Cabe destacar que en este año se mantuvo el buen dinamismo de la inversión productiva; el entorno macroeconómico favorable con una tasa de cambio más competitiva; tasa de desempleo de un dígito donde se resalta que el empleo formal creció más que el empleo informal y un nivel de población en situación de pobreza inferior al 30%” resalta la Andi, (ANDI, 2015, p.1).

No obstante, es importante reconocer que este también ha sido un año lleno de desafíos significativos, el panorama mundial se ha vuelto incierto debido al reciente colapso en el precio internacional de productos básicos, como el petróleo, así como a la desaceleración económica en China y la lenta recuperación en Estados Unidos y Europa. Estos factores han generado preocupación a nivel global, además, la situación en países como Venezuela, Argentina y Brasil se ha vuelto crítica, mientras que en otras naciones como Perú, Ecuador y Chile la coyuntura ha sido menos favorable, el informe advierte sobre estas circunstancias (ANDI, 2015, p.2).

El panorama actual no es completamente negativo, ya que el país se mantiene en un camino de estabilidad gracias a la solidez de los fundamentos de su economía, Colombia ha logrado establecer una posición destacada en la región, gracias a los esfuerzos realizados para

adoptar buenas prácticas, aunque los flujos de inversión extranjera directa han disminuido, siguen ingresando al país a un ritmo menor, la demanda interna se mantiene en una buena dinámica y se vislumbran oportunidades en los acuerdos de libre comercio, aunque es necesario tomar medidas para que los empresarios puedan aprovecharlos plenamente, además, la recuperación de Estados Unidos, nuestro principal socio comercial, podría resultar en un aumento de las exportaciones y un mayor ingreso de remesas, este informe afirma que existen elementos positivos que contrarrestan el panorama desalentador (ANDI, 2018, p. 4).

A medida que el Índice de Precios al Consumidor (IPC) aumenta, también se incrementa la tasa de interés. No obstante, en el ámbito de la construcción, el subsector de vivienda cuenta con beneficios otorgados por el gobierno.

El Gobierno está implementando varias medidas para facilitar el acceso al crédito de vivienda a más colombianos, entre las cuales se encuentra el subsidio a la tasa de interés, mediante programas adaptados a las diferentes necesidades, el Gobierno Nacional busca fomentar la igualdad social, estos programas incluyen subsidios a la tasa de interés para la adquisición de viviendas nuevas, lo que brinda una oportunidad para las empresas del sector Cementero al impulsar la construcción.

Aspectos del entorno social: El gobierno ha implementado una política social que busca brindar soluciones habitacionales a los menos privilegiados a través de la construcción de 100.000 viviendas gratuitas, esta iniciativa representa una oportunidad significativa, ya que implica que las empresas de cemento deben suministrar una parte importante de los materiales necesarios para su construcción, actualmente, la sociedad experimenta cambios en su estilo de vida, con una creciente preferencia por vivir en condiciones más cómodas y preocuparse por el mantenimiento adecuado de sus hogares, y estos cambios en el estilo de vida representan una oportunidad para las empresas, ya que la demanda de viviendas en mejores condiciones se

traduce en un aumento en la demanda de materiales de construcción, como el cemento (DANE, 2018).

Estas movilizaciones representan una amenaza para las empresas, ya que generan situaciones que resultan en importantes pérdidas económicas, sobre todo para compañías como Cementos Cemex, en su caso, deben organizar el traslado de vehículos desde la planta hasta el sitio de la obra de construcción.

Aspectos del entorno social: Las redes de transporte son esenciales para garantizar entregas oportunas, especialmente cuando se busca abastecer diferentes mercados en distintas regiones del país, lo representa una gran oportunidad tanto para la empresa en cuestión como para otras organizaciones que requieren una sólida infraestructura vial, y los avances tecnológicos, como Internet, han posibilitado la creación de páginas web, lo cual las empresas aprovechan para promocionar sus productos y mostrar su cartera de servicios, esta estrategia les permite llegar a nuevos clientes y atraerlos a un costo relativamente bajo. Además, también representa una oportunidad para mantener y captar a los clientes actuales y potenciales a un menor costo posible (DANE, 2018).

El uso de las redes sociales para promocionar la empresa también se presenta como una oportunidad, ya que brinda facilidades para dar a conocer los productos y servicios de la empresa de manera efectiva. Asimismo, la implementación de programas tecnológicos avanzados contribuye al control y funcionamiento adecuado de las empresas. Los softwares especializados permiten almacenar y procesar información de manera eficiente, lo cual representa una valiosa oportunidad para las empresas, en el campo de la medicina, los avances científicos en medicina regenerativa han logrado importantes progresos en la posibilidad de prolongar la vida de las personas y aumentar la esperanza de vida al nacer. Esto representa una oportunidad para abarcar un mercado más amplio y mejorado (DANE, 2018).

En cuanto a la construcción, se han desarrollado nuevas técnicas que ahorran tiempo y dinero, optimizan los recursos y confían las tareas a expertos capacitados e incluso a personas comunes, la industrialización de la construcción se basa en procesos sistematizados y estandarizados, impulsados principalmente por motivos económicos, y los nuevos materiales de construcción se suman a los recursos disponibles para desarrollar sistemas más eficientes, sin embargo, esto también representa una amenaza para las empresas del sector, ya que se requiere un alto presupuesto para invertir en investigación y desarrollo con el fin de mantenerse a la vanguardia, de lo contrario, estas empresas podrían quedar obsoletas y salir del mercado, es importante destacar que los rápidos cambios en la tecnología representan una amenaza para las empresas, ya que deben estar alerta y adaptarse constantemente a las nuevas tendencias y avances técnicos y tecnológicos, esto implica realizar inversiones considerables para mantenerse a la vanguardia, lo cual puede ser una carga financiera significativa (DANE, 2018).

Capítulo III: Propuesta de mejora para proceso de producción y la optimización de los equipos del proceso de dosificación de ceniza en la planta de producción de cemento.

Se consideró la implementación del Mantenimiento Productivo Total - TPM al establecer la propuesta de mejora para el proceso de producción de la empresa Cemex de Colombia. Esta propuesta se basa en los resultados del diagnóstico del proceso de producción del cemento, que incluye la inspección en el suministro, el control de la producción de cemento y la inspección del producto a despachar, además, se sugiere realizar mejoras en la planta para abordar el problema del silo.

Propuesta 1. Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM), en una planta de Cemex Colombia

Para entender el TPM, es importante tener claridad de los pilares de este tipo de mantenimiento, a continuación, se describen los pilares:

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología ampliamente empleada con el propósito de mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos de producción en las empresas. Esta metodología se basa en una serie de ocho pilares fundamentales que proporcionan una sólida estructura para su implementación y mantenimiento. A continuación, se detallan los pilares esenciales del TPM y se explorará cómo pueden ser aplicados en el proceso de producción de cemento llevado a cabo por la reconocida empresa Cemex Colombia (2022):

✓ Mejora enfocada o Método Kaizen.

Este pilar implica la participación de diversas áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los equipos, los procesos y las plantas. En el caso específico de Cemex Colombia, se llevarían a cabo actividades de mejora

continua en los procesos de producción de cemento, enfocándose en la eliminación de pérdidas en las plantas industriales. En este sentido, el procedimiento seguido para realizar acciones de mejoras enfocadas sigue los pasos del conocido Ciclo Deming o PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar).

El sistema TPM habla de 6 tipos de pérdidas a eliminar de nuestros procesos productivos citado por Fernández (2018):

- ✓ Averías en los equipos principales.
- ✓ Modificaciones y ajustes imprevistos.
- ✓ Tiempo libre y detenciones menores.
- ✓ Disminución de la velocidad.
- ✓ Imperfecciones en el proceso.
- ✓ Pérdida de eficiencia en el arranque.

Mantenimiento autónomo o Jisho Hozen.

En este pilar, el personal de producción se involucra en las actividades de mantenimiento, donde los operadores reciben formación y se les anima a cuidar los equipos, respetar las condiciones de operación y mantener las áreas de trabajo limpias. Así mismo, en Cemex Colombia, se promovería la participación activa de los operadores en el mantenimiento de los equipos de producción de cemento, por tanto, con este conocimiento los operadores podrán comprender la importancia de la conservación de las condiciones de trabajo, la necesidad de realizar inspecciones preventivas, participar en el análisis de problemas y la realización de trabajos de mantenimiento en una primera etapa, para luego asimilar acciones de mantenimiento más complejas (Fernández, 2018).

El mantenimiento autónomo tiene a prevenir fallas mediante la implantación de un sistema básico que consta de (Fernández, 2018):

- ✓ Limpieza.
- ✓ Eliminación de fuentes de suciedad y contaminación.
- ✓ Elaboración de normas de Mantenimiento Autónomo.
- ✓ Aplicar técnicas de inspección general.
- ✓ Aplicar técnicas de autoinspección.
- ✓ Estandarización de procedimientos.
- ✓ Control de objetivos.

Mantenimiento programado.

Este pilar se centra en garantizar el óptimo estado del equipo y el proceso mediante actividades sistemáticas y metódicas, en el caso de Cemex Colombia, se tomarán medidas para implementar contramedidas diarias, prolongar la vida útil de los equipos, gestionar el control de repuestos y stocks, y mejorar el análisis y la prevención de averías, a continuación, se detallan los siguientes procedimientos (Fernández, 2018):

- ✓ Establecer contramedidas diarias.
- ✓ Confirmar planes y acciones de mantenimiento programado.
- ✓ Mejorar la vida útil de los equipos e instalaciones.
- ✓ Control de repuestos y stocks.
- ✓ Perfeccionar el análisis, capacidad de diagnóstico y prevención de averías.
- ✓ Confirmar planes de lubricación.

Mantenimiento de calidad o Hinshitsu Hozen.

El objetivo de este pilar es mejorar la calidad del producto final mediante el control de las condiciones del equipo que afectan directamente dicha calidad. Cemex Colombia implementará acciones de mantenimiento enfocadas en el cuidado del equipo con el fin de evitar defectos de calidad y garantizar que la maquinaria cumple con los estándares técnicos. Asimismo, se

analizarán las variaciones en las características de los equipos y se controlarán los elementos de la máquina que impactan en la calidad del cemento, a continuación, se detallan los siguientes procesos:

- ✓ Realizar acciones de mantenimiento para cuidar el equipo y evitar que genere defectos de calidad.
- ✓ Prevenir defectos de calidad mediante la certificación de que la maquinaria cumple con las condiciones para alcanzar "cero defectos" y se encuentra dentro de los estándares técnicos.
- ✓ Observar las variaciones en las características de los equipos con el objetivo de prevenir defectos y tomar medidas anticipadas ante situaciones anormales.
- ✓ Identificar los elementos del equipo que tienen un alto impacto en la calidad del producto final y llevar a cabo su control.

Prevención del Mantenimiento.

Este pilar se centra en las mejoras realizadas durante el diseño, construcción y puesta a punto de los equipos. Para Cemex Colombia utilizaría el historial del comportamiento de la maquinaria para identificar posibles mejoras en el diseño y reducir las causas de averías, a través del uso de las técnicas de prevención de mantenimiento fundamentadas en la teoría de la fiabilidad, lo que demanda contar con buenas bases de datos sobre frecuencia de averías y reparaciones (Fernández, 2018).

Mantenimiento de áreas soporte.

El objetivo de este pilar es reforzar las áreas administrativas y de soporte mediante la implementación de mejoras que promuevan la plena participación de los miembros, incrementen la productividad, mantengan a los clientes existentes y busquen nuevos. En Cemex Colombia, se

llevarán a cabo mejoras en los departamentos administrativos y de soporte con el fin de equilibrar las actividades primarias y secundarias en la cadena de valor.

Polivalencia y desarrollo de actividades.

Este pilar se refiere al desarrollo de habilidades del personal para identificar problemas, comprender el funcionamiento de los equipos, analizar y resolver problemas, conservar el conocimiento y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales, en Cemex Colombia, se fomentaría el desarrollo de habilidades en el personal para desempeñar estas actividades relacionadas con la producción de cemento, debido a que este tipo de mantenimiento requiere de un personal que haya desarrollado lo siguiente (Díaz, 2020):

- ✓ Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
- ✓ Comprender el funcionamiento de los equipos.
- ✓ Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- ✓ Poder de analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- ✓ Capacidad para conservar el conocimiento y enseñar a otros compañeros.
- ✓ Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

Seguridad y entorno.

Este pilar se centra en lograr un entorno seguro, higiénico y libre de contaminación, también en establecer las medidas de seguridad para los equipos e instalaciones, mejorar las condiciones laborales, promover un ambiente de trabajo saludable y se evitar la contaminación ambiental. En Cemex Colombia, implementarían acciones para garantizar la seguridad de los

trabajadores, promover la limpieza y la higiene, y cuidar el medio ambiente en el proceso de producción de cemento.

A continuación, se proponen las siguientes acciones a realizar para alcanzar este pilar (Díaz, 2020) son:

- ✓ Establecer medidas de seguridad del equipo / instalación.
- ✓ Lograr condiciones laborales más seguras.
- ✓ Mejorar el medio ambiente laboral (ruidos, vibraciones, suciedad, etc.).
- ✓ Evitar la contaminación ambiental.
- ✓ Cuidar la salud de los trabajadores.
- ✓ Promover acciones de limpieza e higiene.

Finalmente, la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM) se puede aplicar en el proceso de producción de cemento de Cemex Colombia a través de los ocho pilares mencionados. Estos pilares incluyen la mejora enfocada, el mantenimiento autónomo, el mantenimiento programado, el mantenimiento de calidad, la prevención del mantenimiento, el mantenimiento de áreas de soporte, la polivalencia y desarrollo de actividades, y la seguridad y el entorno. Al implementar estos pilares, Cemex Colombia puede optimizar la eficiencia y confiabilidad de sus equipos de producción de cemento, mejorar la calidad del producto final y garantizar un entorno de trabajo seguro y sostenible.

Mejora del proceso de producción de cemento con el TPM.

De acuerdo con lo establecido por los pilares del TPM, se proponen los siguientes aspectos para el mejoramiento de los procesos de producción de cemento en la compañía de Cemex Colombia.

Para el mejoramiento de los equipos de producción se propone el establecimiento de equipos multifuncionales, para el trabajo multidisciplinario que incluyan operadores, técnicos de mantenimiento, personal de calidad y supervisores, donde estos equipos de trabajo serán responsables de implementar y dar seguimiento a los pilares del TPM en el proceso de producción de cemento, al realizar una estimación de los costos para la implantación del modelo propuesto, a continuación se describen en dólares los siguientes aspectos:

Tabla 5. *Estimación de costos de la implantación del TPM.*

Concepto	Costo Estimado (USD)		Costo Estimado (COP)	
	Inversión mínima	Inversión máxima	Inversión mínima	Inversión máxima
Capacitación y formación del personal	\$ 6.000	\$ 8.000	\$ 26.819.940	\$ 35.759.920
Análisis y evaluación inicial	\$ 3.000	\$ 7.000	\$ 13.409.970	\$ 31.289.930
Mejoras y modificaciones de equipos	\$ 20.000	\$ 30.000	\$ 89.399.800	\$ 134.099.700
Programas de autónomas de mantenimiento	\$ 6.000	\$ 9.000	\$ 26.819.940	\$ 40.229.910
Monitoreo y seguimiento	\$ 5.000	\$ 10.000	\$ 22.349.950	\$ 44.699.900
Totales	\$ 40.000	\$ 64.000	\$ 178.799.600	\$ 286.079.360

Fuente: Propia autoría

Cabe resaltar que los costos suministrados en esta tabla 5, son solo estimaciones ya que los costos pueden variar significativamente según las circunstancias individuales de la planta de acuerdo a lo siguiente:

La capacitación y formación del personal, depende de la duración y el alcance de los programas de formación, lo cual podría incluir la contratación de expertos en TPM, talleres de capacitación externos y recursos de aprendizaje.

El análisis y evaluación inicial, posiblemente se necesiten servicios de consultoría para realizar una evaluación inicial de la planta, los costos según el tamaño y la complejidad de la planta pueden variar.

Las mejoras y modificaciones de equipos, pueden variar considerablemente según las necesidades específicas de la planta, que cubriría mejoras en los sistemas de control, actualización de maquinaria y adquisición de nuevos equipos.

Los programas de autónomos de mantenimiento, puede requerir la adquisición de herramientas, equipos y materiales adicionales.

El monitoreo y seguimiento, pueden variar según el tipo de software o herramientas utilizadas para sistemas de gestión de mantenimiento.

Por lo anterior, se prevé desarrollar habilidades a través de la implantación de programas de capacitación y entrenamiento continuo para todos los equipos de trabajo involucrados en el proceso de producción de cemento, lo cual incluirá la formación en técnicas de mantenimiento básicas, control de calidad, seguridad y medio ambiente, así como habilidades específicas relacionadas con el uso y mantenimiento de los equipos utilizados.

De la misma forma, la implementación del pilar de mejora autónoma, permitirá la participación activa de los operadores en el cuidado y mantenimiento de los equipos, debido a que las capacitaciones continuas a los operadores que realizan las tareas de limpieza, inspección visual y detección temprana de problemas, podrán tener mejores resultados en la operación de la planta de cemento, permitiendo establecer un sistema de comunicación efectivo para que los operadores puedan reportar y abordar problemas de manera oportuna.

En este sentido, para desarrollar todas las habilidades propuestas, se deberán diseñar planes de mantenimiento preventivos, donde puedan ser implantados en los equipos críticos utilizados en el proceso de producción de cemento, y que requieren de inspecciones periódicas, reemplazo programado de piezas desgastadas y actividades de mantenimiento para prevenir fallas inesperadas, utilizando herramientas de gestión de mantenimiento para dar seguimiento a las actividades. Por tanto, es de vital importancia la implementación del pilar de mantenimiento de calidad temprano, para la realización de controles y verificaciones rigurosas en las etapas iniciales del proceso de producción de cemento para evitar la aparición de defectos en el producto final, lo cual se establece por medios de protocolos de control de calidad y pruebas regulares que garantizan los estándares de calidad en cada etapa del proceso.

Lo anterior, es importante si no se deja de tener en cuenta los enfoques de seguridad, salud y medio ambiente, ya dentro de los procesos operativos y productivos se debe promover una cultura de seguridad y establecer políticas y procedimientos sólidos en materia de seguridad, salud y medio ambiente, para disminuir el impacto ambiental del proceso de producción de cemento y asegurar el cumplimiento de las regulaciones y normativas ambientales de generación del CO₂.

Por todo lo anterior, la implementación estas mejoras basadas en los pilares del TPM en el proceso de producción de cemento de Cemex Colombia permitirá optimizar la eficiencia operativa, mejorar la calidad del producto, aumentar la confiabilidad de los equipos, garantizar la seguridad de los empleados y reducir el impacto ambiental. Además de lo mencionado anteriormente.

Propuesta 2. Implementación de un sistema de dosificación, para solucionar el problema de atascamiento del Tornillo sin fin de la planta procesadora de cemento.

En la siguiente propuesta se describen tres propuestas de soluciones al problema del atascamiento del tornillo sin fin de la planta de cemento y genera desperdicios de ceniza durante el proceso. A continuación, se describen las tres soluciones al problema.

Solución 1.

1. Esta propuesta tiene como finalidad ofrecer una solución que potencie el desempeño y la eficacia en el funcionamiento de un tornillo, para lograrlo, se propone la instalación de un variador en el motorreductor, lo cual posibilitará trabajar a las revoluciones por minuto requeridas, de esta manera, se minimizarán los arranques y paros del tornillo, optimizando su desempeño, ya que de este modo se podría sostener el grado de llenado del tolvin reduciendo la presurización y atascamiento del tornillo por vencimiento de inercia (solución económica).

Esta solución optimizará el grado de llenado del tolvin y mejorará el flujo de material transportado por el tornillo, teniendo en cuenta los siguientes procesos descritos así:

A. Evaluación del sistema existente:

- Realizar un análisis exhaustivo del sistema actual, incluyendo el motorreductor, el tornillo y el mecanismo de control.
- Identificar las deficiencias del sistema, como los arranques y paros frecuentes del tornillo, la presurización y el atascamiento debido al vencimiento de inercia, y la reducción del grado de llenado del tolvin.
- Medir las rpm actuales del tornillo en diferentes condiciones de operación y determinar los valores necesarios para un funcionamiento óptimo.

B. Selección del variador:

- Evaluar diferentes opciones de variadores disponibles en el mercado, considerando las necesidades y especificaciones del sistema.
- Seleccionar un variador que pueda controlar de manera precisa el rpm del tornillo y que cumpla con los requisitos de potencia y eficiencia energética.
- Asegurarse de que el variador sea compatible con el motorreductor existente y que pueda integrarse sin problemas en el sistema actual.

C. Diseño e instalación:

- Realizar un diseño detallado de la instalación del variador en el motorreductor del tornillo, teniendo en cuenta los requisitos mecánicos, eléctricos y de seguridad.
- Asegurarse de que el variador esté conectado correctamente al sistema de control y pueda recibir las señales necesarias para ajustar los rpm del tornillo.
- Garantizar una instalación adecuada y segura del variador, siguiendo las normas y regulaciones pertinentes.

D. Programación y ajuste:

- Configurar el variador de acuerdo con los parámetros específicos del sistema, teniendo en cuenta los rpm necesarios para eliminar y minimizar los arranques y paros del tornillo.
- Realizar pruebas exhaustivas para asegurarse de que el variador esté funcionando correctamente y ajustar los parámetros según sea necesario.
- Optimizar los ajustes del variador para maximizar la eficiencia del tornillo y mantener un grado de llenado óptimo en el tolvin.

E. Capacitación y seguimiento:

- Proporcionar capacitación a los operadores y personal de mantenimiento sobre el funcionamiento y la operación del sistema mejorado con el variador.
- Establecer un programa de seguimiento y mantenimiento regular para garantizar un rendimiento óptimo a largo plazo.
- Realizar inspecciones periódicas y análisis de datos para evaluar el rendimiento del sistema y realizar ajustes adicionales si es necesario.

Beneficios esperados de la solución 1:

- Reducción significativa de los arranques y paros del tornillo, lo que minimiza los problemas de presurización y atascamiento debido al vencimiento de inercia, mejorando la eficiencia y la productividad del sistema.
- Mantenimiento del grado de llenado óptimo del tolvin, evitando fluctuaciones y asegurando un flujo constante del material transportado.
- Mejora en la vida útil del motorreductor y del tornillo, al reducir el estrés y el desgaste causados por los arranques y paros frecuentes.
- Control preciso de las rpm del tornillo, lo que permite ajustar la velocidad de acuerdo con las necesidades específicas de operación.
- Mayor eficiencia energética, ya que el variador permite adaptar el consumo de energía al nivel requerido en cada momento, evitando el uso innecesario de potencia.
- Reducción de los costos de mantenimiento y reparación, al minimizar los daños y desgastes ocasionados por el vencimiento de inercia y los problemas de presurización y atascamiento.

- Mejora en la seguridad laboral, al reducir los riesgos asociados con los arranques bruscos y los paros repentinos del tornillo.

Costos y consideraciones adicionales:

- Realizar un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de la instalación del variador y los beneficios esperados.
- Considerar el tiempo y los recursos necesarios para la instalación, programación y ajuste del variador.
- Garantizar la disponibilidad de personal capacitado para llevar a cabo la instalación y el mantenimiento del variador.
- Cumplir con las normativas y regulaciones aplicables en términos de seguridad y funcionamiento de los equipos.

A continuación, en la siguiente tabla 6, se proyectó un costo estimado de inversión de la solución 1:

Tabla 6. *Costos estimados de implantación de variador de frecuencia (Solución 1)*

Concepto	Costo estimado (\$USD)	Costo estimado (\$COP)
Variador de frecuencia	\$ 1.382	\$ 6.181.039
Mano de obra	\$ 647	\$ 2.888.748
Cableado y conexiones eléctricas	\$ 347	\$ 1.549.150
Análisis y diseño del sistema	\$ 462	\$ 1.948.498
Pruebas y ajustes	\$ 392	\$ 1.752.280
Mantenimiento y garantía	\$ 347	\$ 1.549.150
Total	\$ 3.577	\$ 15.868.865

Fuente: Propia autoría

Sin embargo, al realizar un análisis de los tiempos perdidos por atascamiento, se realizaron los siguientes cálculos de los tiempos perdidos por atascamiento del tornillo sin fin en una tabla, considerando el proceso de adición dosificada de material y los desperdicios de ceniza que generan una nube de polvo afectando el aire, teniendo en cuenta la información sobre el proceso, a continuación, se describe la tabla 7.

Tabla 7. *Tiempos perdidos por atascamiento del tornillo sin fin.*

No. de ocurrencia	Duración del atasco (minutos)	Causa	Acción tomada
1	30	Tornillo sin fin bloqueado	Limpieza y desbloqueo
2	20	Exceso de ceniza en el tornillo	Limpieza y desbloqueo
3	45	Obstrucción en el conducto de dosificación	Limpieza y desbloqueo
4	20	Acumulación de polvo en la entrada del tornillo	Limpieza y desbloqueo
5	30	Falla en el motor del tornillo sin fin	Reparación del motor

Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que los valores en la tabla son aproximados, dado según la información específica de tu proceso, además, los tipos de causas y acciones tomadas pueden variar dependiendo de la situación actual de sistema.

Solución 2.

2. De acuerdo a la necesidad presentada de mejorar el sistema de dosificación y transporte de material en la instalación actual, se propone implementar una solución técnica que emplee una Rotary con variador para controlar el llenado del tolvin y un Aerodeslizador como sistema de transporte desde el silo al tolvin, para optimizar la eficiencia y la precisión en el

proceso de dosificación, al tiempo que ofrece una forma novedosa y eficiente de transportar el material, reduciendo los costos y mejorando la productividad. Además, se hace necesario instalar un sistema de recolección de aire para garantizar un entorno seguro y saludable. A continuación, se describe el proceso para la implementación.

A. Implementación de una Rotary con variador:

El primer paso consiste en reemplazar el sistema de dosificación existente por una Rotary con variador, por lo tanto, al referirnos a un Rotary se hace alusión a una máquina dosificadora ampliamente utilizada en diversas industrias debido a su capacidad para medir y controlar con precisión la cantidad de material dispensado. Así mismo, el variador permite ajustar la velocidad de la Rotary, lo que facilita el control y la regulación del flujo de material hacia el tolvin. En este sentido, este sistema de dosificación mucho más preciso, se minimizan los errores de llenado y se asegura una dosificación adecuada del material.

B. Uso de un Aerodeslizador como sistema de transporte:

En lugar de utilizar métodos tradicionales de transporte, se propone emplear un Aerodeslizador para llevar el material desde el silo hasta el tolvin. Este Aerodeslizador es una embarcación que se desliza sobre una capa de aire, lo que le permite moverse de manera rápida y eficiente sin entrar en contacto directo con el suelo, por lo que este método de transporte tiene varias ventajas significativas (Peiró & Reina, 2016):

Reducción de la fricción: Al deslizarse sobre una capa de aire, el Aerodeslizador minimiza la fricción con el suelo, lo que resulta en una menor resistencia y, por lo tanto, en una mayor eficiencia energética.

Mayor velocidad y capacidad de maniobra: Los Aerodeslizadores son conocidos por su capacidad para alcanzar velocidades superiores a las de los medios de transporte

convencionales, lo que resulta en un transporte más rápido del material. Además, su diseño permite maniobrar fácilmente en terrenos difíciles o accidentados.

Menor necesidad de infraestructura: A diferencia de otros medios de transporte, como cintas transportadoras o camiones, los Aerodeslizadores no requieren una infraestructura extensa, como rieles o carreteras. Esto reduce los costos asociados con la construcción y el mantenimiento de dichas infraestructuras.

C. Instalación de un sistema de recolección de aire:

Dado que el uso de un Aerodeslizador implica el movimiento de aire, es importante instalar un sistema de recolección de aire para evitar posibles problemas de contaminación ambiental o de salud, por lo tanto, este sistema de recolección de aire deberá capturar el aire desplazado por el Aerodeslizador y filtrarlo adecuadamente para eliminar cualquier partícula o sustancia dañina antes de liberarlo nuevamente al entorno. Así mismo, se deben implementar filtros y sistemas de depuración del aire para garantizar que cumpla con los estándares de calidad y no represente ningún riesgo para los trabajadores o el medio ambiente. Sin embargo, el sistema de recolección de aire puede incluir componentes como (Peiró & Reina, 2016):

Conductos de captación: Se instalarán conductos estratégicamente ubicados en el área donde opera el Aerodeslizador para capturar el aire desplazado durante el transporte del material, los cuales deben ser lo suficientemente amplios y estar diseñados para permitir un flujo de aire adecuado.

Filtros de aire: Los conductos estarán conectados a un sistema de filtrado que estará compuesto por filtros de alta eficiencia, los cuales se encargarán de retener y eliminar partículas, polvo u otras sustancias nocivas presentes en el aire, asegurando que el aire expulsado esté limpio y libre de contaminantes.

Sistema de purificación: Para garantizar una calidad de aire óptima, se pueden emplear sistemas de purificación adicionales, como la desinfección con luz ultravioleta o la utilización de agentes químicos descontaminantes, los cuales ayudarán a eliminar cualquier microorganismo o agente patógeno que pueda estar presente en el aire recogido.

Monitoreo y control: Se implementará un sistema de monitoreo y control para supervisar constantemente la calidad del aire y poder detectar cualquier anomalía o disminución en la eficiencia del sistema de recolección y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

Beneficios de la propuesta de solución 2:

Mayor precisión y control: La implementación de una Rotary con variador mejorará significativamente la precisión y el control en el proceso de dosificación, lo que resultará en una mayor consistencia en el llenado del tolvin y una reducción de errores.

Eficiencia en el transporte: El uso de un Aerodeslizador como sistema de transporte proporcionará una mayor velocidad y capacidad de maniobra, lo que resultará en un transporte más rápido y eficiente del material. Además, al reducir la fricción y no requerir una infraestructura compleja, se obtendrá un ahorro de costos significativo.

Seguridad y protección ambiental: La instalación de un sistema de recolección de aire garantizará un entorno de trabajo seguro y saludable al capturar y filtrar cualquier contaminante generado por el Aerodeslizador. Esto ayudará a prevenir problemas de salud relacionados con la calidad del aire y a minimizar el impacto ambiental.

Mejora de la productividad: La combinación de una dosificación precisa y un transporte eficiente permitirá optimizar los tiempos de producción y minimizar los tiempos de inactividad, lo que resultará en una mejora general de la productividad de la instalación.

A continuación, en la siguiente tabla 7, se proyectó un costo estimado de inversión de la solución 2:

Tabla 8. Costos de la implantación de un sistema de Rotary con variador (solución 2).

Concepto	Costo estimado (\$USD)	Costo estimado (\$COP)
Rotary con variador	\$ 263	\$ 1.173.373
Aerodeslizador	\$ 175	\$ 782.248
Instalación y montaje	\$ 61	\$ 273.788
Materiales auxiliares	\$ 61	\$ 273.788
Mano de obra	\$ 105	\$ 469.348
Pruebas y ajustes	\$ 53	\$ 234.675
Capacitación técnica	\$ 105	\$ 469.348
Mantenimiento y repuestos	\$ 88	\$ 391.125
Total	\$ 910	\$ 4.067.693

Fuente: Propia autoría

Solución 3.

3. Implementación de un sistema de dosificación Fister (Solución costosa).

El proceso de cemento en una planta involucra múltiples etapas, y una de las áreas críticas es la dosificación precisa de los materiales utilizados. Por ende, un componente clave de este proceso es el tornillo sin fin, que se encarga de transportar y dosificar el cemento de manera controlada. Sin embargo, en muchas plantas, se enfrentan desafíos relacionados con el rendimiento y la eficiencia de este tornillo sin fin, lo que puede afectar la calidad del producto final y aumentar los costos de producción. Por lo anterior, se propone la implementación de un sistema de dosificación Fister, que ofrece mejoras significativas en términos de rendimiento y eficiencia.

Descripción del sistema de dosificación Fister:

El sistema de dosificación Fister es una solución tecnológica avanzada diseñada específicamente para optimizar el rendimiento de los tornillos sin fin en procesos de dosificación

industrial, se basa en el principio de dosificación por peso, donde se controla y ajusta con precisión la cantidad de cemento transportado por el tornillo sin fin. A continuación, se detallan los componentes y las características clave del sistema de dosificación Fister (Gonzalez, 2015):

Celda de carga: Se instala una celda de carga en la base del tornillo sin fin para medir el peso del cemento transportado en tiempo real. Esta celda de carga es altamente sensible y proporciona lecturas precisas de peso, lo que permite un control preciso de la dosificación.

Controlador automático: El sistema de dosificación Fister incluye un controlador automático que recibe las señales de peso de la celda de carga y ajusta automáticamente la velocidad del tornillo sin fin para mantener una dosificación constante. El controlador utiliza algoritmos avanzados para realizar cálculos en tiempo real y garantizar una dosificación precisa y estable.

Interfaz de usuario intuitiva: El sistema de dosificación Fister cuenta con una interfaz de usuario fácil de usar que permite a los operadores configurar y monitorear el proceso de dosificación. La interfaz muestra información en tiempo real sobre el peso dosificado, la velocidad del tornillo sin fin y otros parámetros relevantes. También permite ajustes manuales cuando sea necesario.

Beneficios y Ventajas de la propuesta de solución 3:

La implementación de un sistema de dosificación Fister en el proceso de cemento de una planta ofrece numerosos beneficios y ventajas, entre los que se incluyen:

Dosificación precisa: El sistema de dosificación Fister garantiza una dosificación precisa del cemento, lo que evita variaciones en la calidad del producto final. Esto mejora la consistencia y la uniformidad en la composición del cemento.

Rendimiento mejorado: Al mantener una dosificación constante y precisa, el sistema de dosificación Fister optimiza el rendimiento del tornillo sin fin. Esto se traduce en un aumento de la capacidad de producción y una reducción de los tiempos de inactividad y los desperdicios.

Eficiencia energética: Gracias a la capacidad de controlar la velocidad del tornillo sin fin de forma precisa, el sistema de dosificación Fister ayuda a optimizar el consumo de energía.

Reducción de costos: Al mejorar el rendimiento y la eficiencia del tornillo sin fin, el sistema de dosificación Fister ayuda a reducir los costos de producción. Se minimiza el desperdicio de cemento, se optimiza el uso de recursos y se disminuyen los tiempos de inactividad, lo que se traduce en ahorros significativos a largo plazo.

Monitoreo y control en tiempo real: El sistema de dosificación Fister proporciona información en tiempo real sobre el peso dosificado, la velocidad del tornillo sin fin y otros parámetros relevantes. Esto permite un monitoreo continuo y un control preciso del proceso de dosificación, lo que facilita la detección temprana de cualquier desviación o problema y la toma de acciones correctivas inmediatas.

Integración con sistemas existentes: El sistema de dosificación Fister se puede integrar fácilmente con los sistemas y equipos existentes en la planta de cemento. Esto facilita su implementación sin interrupciones significativas en la producción y aprovecha la infraestructura ya existente.

Cumplimiento de normas y regulaciones: El sistema de dosificación Fister juega un papel crucial en asegurar el cumplimiento de las normas y regulaciones de la industria respecto a la precisa dosificación de materiales en el proceso de cemento, su utilidad se destaca aún más en aplicaciones donde se exige mantener una calidad consistente y se deben satisfacer estándares específicos (Gómez, 2021).

A continuación, en la siguiente tabla 8, se proyectó un costo estimado de inversión de la solución 3:

Tabla 9. *Costos de la implantación de un sistema de dosificación Fister (solución 3).*

Concepto	Descripción	Costo estimado (\$USD)	Costo estimado (\$COP)
Equipamiento	Compra del sistema de dosificación Fister	\$ 1.750	\$ 7.822.483
Instalación	Costos de instalación y puesta en marcha	\$ 350	\$ 1.564.497
Capacitación	Capacitación del personal en el uso del sistema	\$ 350	\$ 1.564.497
Materiales y suministros	Insumos necesarios para la dosificación	\$ 525	\$ 2.346.745
Mantenimiento	Costos de mantenimiento periódico	\$ 175	\$ 782.248
Contingencias	Fondos adicionales para imprevistos	\$ 175	\$ 782.248
Total		\$ 3.325	\$ 14.862.717

Fuente: Propia autoría

Conclusiones

La presente investigación tiene como propósito realizar una propuesta para mejorar el proceso de producción de cemento de una planta de cemento de Cemex Colombia, y de acuerdo a los resultados obtenidos del diagnóstico analizado del proceso de producción se establecieron las siguientes conclusiones:

La implementación de la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el proceso de producción de cemento de Cemex Colombia a través de los ocho pilares mencionados (mejora enfocada, mantenimiento autónomo, mantenimiento programado, mantenimiento de calidad, prevención del mantenimiento, mantenimiento de áreas de soporte, polivalencia y desarrollo de actividades, y seguridad y entorno) puede conducir a mejoras significativas en la eficiencia operativa, calidad del producto, confiabilidad de los equipos, seguridad laboral y reducción del impacto ambiental. Se propone el establecimiento de equipos multifuncionales, capacitación continua, implementación de programas de mantenimiento preventivo, control de calidad temprano y enfoque en seguridad, salud y medio ambiente para lograr estos beneficios.

También se concluye, la instalación de un variador en el motorreductor del tornillo permitirá controlar de manera precisa las rpm del tornillo, reduciendo los arranques y paros innecesarios y mejorando la eficiencia del sistema, lo cual resultará en una disminución de los problemas de presurización y atascamiento, un mejor grado de llenado del tolvin y una mayor vida útil de los equipos. Además, se logrará una mayor eficiencia energética y una mejora en la seguridad laboral. Es importante considerar los costos y las consideraciones técnicas antes de implementar esta solución, pero se espera que los beneficios superen ampliamente las inversiones iniciales.

En conclusión, la propuesta de solución plantea cambiar el sistema de dosificación a una Rotary con variador y utilizar un Aerodeslizador como sistema de transporte. Además, se destaca

la importancia de instalar un sistema de recolección de aire para garantizar un entorno de trabajo seguro y proteger el medio ambiente. Esta solución técnica ofrece beneficios significativos en términos de precisión, eficiencia, seguridad y productividad en el proceso de dosificación y transporte de material.

Finalmente, se concluye que el sistema de dosificación Fister es una solución tecnológica avanzada diseñada para optimizar el rendimiento de los tornillos sin fin en procesos de dosificación industrial. Se basa en el principio de dosificación por peso y consta de una celda de carga, un controlador automático y una interfaz de usuario intuitiva. Los beneficios y ventajas de este sistema incluyen una dosificación precisa del cemento, un rendimiento mejorado del tornillo sin fin, eficiencia energética, reducción de costos, monitoreo y control en tiempo real, integración con sistemas existentes y cumplimiento de normas y regulaciones de la industria.

Recomendaciones

Se recomienda para mejorar el proceso de producción de cemento utilizando el Mantenimiento Productivo Total (TPM):

Establecer equipos multifuncionales y multidisciplinarios que incluyan operadores, técnicos de mantenimiento, personal de calidad y supervisores.

Proporcionar programas de capacitación y entrenamiento continuo para todos los equipos de trabajo involucrados en el proceso de producción.

Implementar el pilar de mejora autónoma, fomentando la participación activa de los operadores en el cuidado y mantenimiento de los equipos.

Diseñar planes de mantenimiento preventivos para los equipos críticos, incluyendo inspecciones periódicas y actividades de mantenimiento.

Aplicar controles de calidad tempranos en el proceso de producción para evitar la aparición de defectos en el producto final.

Promover una cultura de seguridad y establecer políticas y procedimientos sólidos en materia de seguridad, salud y medio ambiente.

Cumplir con las regulaciones y normativas ambientales relacionadas con la generación de CO₂.

Estas mejoras basadas en los pilares del TPM ayudarán a optimizar la eficiencia operativa, mejorar la calidad del producto, aumentar la confiabilidad de los equipos, garantizar la seguridad de los empleados y reducir el impacto ambiental en el proceso de producción de cemento.

En este sentido, en cuanto al problema del atascamiento del tornillo sin fin en el proceso de dosificación de cemento en una planta de cemento, por lo tanto, se identificaron los siguientes aspectos a considerar por cada propuesta de solución:

Mejora del diseño del tornillo sin fin: Esta propuesta sugiere realizar modificaciones en el diseño del tornillo sin fin, como cambiar su geometría o utilizar recubrimientos especiales para reducir la fricción y evitar el atascamiento. Sin embargo, esta solución puede requerir pruebas y ajustes adicionales para garantizar su eficacia.

Implementación de un sistema de vibración: Esta propuesta propone utilizar un sistema de vibración para evitar el atascamiento del tornillo sin fin. La vibración ayuda a mantener el flujo constante del cemento y evita la acumulación de material en el tornillo. Sin embargo, esta solución puede generar costos adicionales y requerir un monitoreo continuo.

Uso del sistema de dosificación Fister: Esta propuesta sugiere implementar un sistema de dosificación Fister, que utiliza tecnología de pesaje y control para dosificar con precisión la cantidad de cemento. Este sistema garantiza una dosificación precisa, mejora el rendimiento y la eficiencia, reduce los costos y mejora la calidad del producto final.

Cada propuesta tiene sus beneficios y consideraciones adicionales, pero se requiere realizar un análisis de costos y evaluar la viabilidad económica antes de implementar cualquier solución. Además, se debe proporcionar capacitación adecuada, establecer un programa de mantenimiento regular y cumplir con las normativas aplicables.

En general, se requiere una evaluación cuidadosa de las opciones disponibles y una consideración de las necesidades y restricciones específicas de la planta de cemento para determinar la mejor solución para abordar el problema del atascamiento del tornillo sin fin.

Referencias bibliográficas

- Bautista-Ruiz, W. A., Díaz-Lagos, M., & Martínez-Ovalle, S. A. (2017). Caracterización de las cenizas volantes de una planta termoeléctrica para su posible uso como aditivo en la fabricación de cemento. *Rev. investig. desarro. innov*, 8(1), 135-146.
doi:10.19053/20278306.v8.n1.2017.7374
- CEMEX, (2013). Usos y aplicaciones del cemento. Dirección de desarrollo comercial. Tomado de: <https://es.slideshare.net/puentesyconstruccion/cemento-y-normatividad>
- Da Silva, M., Figueiredo B., & Rodrigues P., (2023). *Influence of Brazilian fly ash fineness on the cementing efficiency factor, compressive strength and Young's modulus of concrete, developments in the Built Environment*, 100147, ISSN 2666-1659,
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100147>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923000297>
- Díaz-Pardo, W y Meneses-Suárez, L. (2019). Efecto de la adición de ceniza volante en las propiedades mecánicas y de resistencia a la penetración del ion cloruro en el mortero. Bogotá. <https://repository.ucatolica.edu.co/items/fda8b178-dbe1-41a6-867c-12edd1a7f1cb>
- Fernández, E., (2018). Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM. Universidad de Oviedo. Gijón – Asturias.
- González, S., (2015). *Diseños de mecanismos de tornillo sin fin para maquina llenadora de bolsas de lavatrastes en polvo*. Instituto Politécnico Nacional. Azcapotzalco D.F.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta Edición. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.

Huaquisto y Belisario (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Rev. Investig. Altoandin.* 2018; Vol 20 Nro 2, p.p. 225 – 234. Perú.

<file:///C:/Users/FullCtg/Downloads/5Utilizacindelacenzavolanteenladosisacindelconcretocomosustitutodelcemento.pdf>

Luna L., (2007). "Competencia Monopolística en México y en el Mundo - CEMEX". [en línea]. Dirección URL: <https://www.econlink.com.ar/economia/competencia-monopolistica-mexico> (Consultado el 13 de Mayo de 2021)

Orozco, Babel, Tangtermsirikul & Sugiyama (2023). *Understanding the environmental, economic, and social impact of fly ash utilization on early-age high-strength mass concrete using life cycle analysis, Materials Today: Proceedings.* ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.141>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323011835>

Osorio-Rosado, A. (2020). Diseño de mezcla para morteros de ceniza volante activados alcalinamente. Bogotá. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/777282c4-530a-4f48-85ee-4e75235ffe92/content>

Pieró, S., & Reina, K., (2016). *Estudio, diseño y construcción de un Hovercraft por control remoto de 0,63 metros de eslora.* Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.