

Evaluación de la Viabilidad de Tierras de Blanqueo y Filtrantes como Combustible Alternativo para Minimizar CO₂ y como Adición para la Producción de Cemento en Planta Cemex
Cúcuta

Yesmin Andrea Caicedo Moreno

Asesor

Mara Isabel Orozco

Doctora en Ciencias Químicas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías (ECBTI)

Programa Química

2023

Mara Isabel Orozco

Jurado Principal

Jurado Principal

Dedicatoria

“A mis padres, por su apoyo fundamental en mi vida, por haberme traído a este mundo, inculcarme buenos valores y darme la mejor educación”.

– “Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi Hijo, pues sin él no lo había logrado. Mi sacrificio a lo largo del camino de mis trabajos y tiempos no compartidos contigo, me motivaron para seguir adelante. Por eso te doy todo lo que en vida pueda darte e incluso mi tiempo de ahora en adelante y mucho más hijo mío, te amo”.

-Dedico esta tesis a mi Mentor de procesos de Cemex Juan Rafael Suarez quien me acompañó en este proceso de realización e investigación, gracias a su conocimiento me aportó mucho en la culminación de este proyecto.

-Dedico esta tesis a mi directora de Tesis Mara Isabel Orozco por tener paciencia para ayudarme a terminarla, por sus consejos para redactarla, por su esfuerzo por ayudarme y por su interés en sus alumnos”.

– “Gracias a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, casa de estudio que me permitió crecer académicamente y tener una educación de calidad”.

- “A los valiosos profesores que me impartieron sus conocimientos y me ayudaron en cada paso que di”.

Agradecimientos

Gracias infinitas a mi Familia, por su amor absoluto y su apoyo infinito. Su confianza en mí, incluso en los momentos más difíciles, y mi hijo que ha sido el pilar de este logro. También expreso mi agradecimiento a mis hermanos, quienes supieron manifestar su tiempo valioso para escucharme y apoyarme, y a mis Padres, quienes supieron estar cuando más los necesitaba. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor surgió en su respaldo que me brindo esta puerta a través de este viaje académico.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé.

Resumen

Se desarrolló en el presente trabajo una investigación que consistió en analizar y determinar la viabilidad de tierras de blanqueo y filtrantes como combustible alternativo y adición en el cemento. Las plantas de biodiesel en su proceso requieren de tierras de blanqueo y filtrantes para su producción; estos residuos son eliminados en escombreras, y una posible solución para mitigar el impacto ambiental es aprovechar y darles un uso adecuado en este proceso. En este sentido, se propone el estudio de la aplicación de dichas tierras en el proceso de fabricación del cemento. El cemento es un material que debe cumplir con unos estándares de calidad para su uso, especialmente con alta resistencia mecánica la cual es su propiedad física principal. En este proyecto se caracterizaron tierras de blanqueo y filtrantes, generados como residuos en el proceso de producción de biodiesel, evaluando su poder calorífico, contenido de cenizas y su estructura química empleando para ello la fluorescencia de rayos X. Posteriormente, las muestras más prometedoras, se activaron y calcinaron a 950°C aprovechando el combustible remanente de éstas como alternativo y, así disminuir el gasto energético total de esta etapa del proceso para finalmente ser utilizadas como adición en el cemento, evaluando el efecto de diferentes concentraciones en las propiedades mecánicas tales como la resistencia a la compresión y composición química el estudio de la fluorescencia, teniendo en cuenta que el cemento debe cumplir con los estándares de calidad sujetos a las normas NTC 118, NTC 220 y NTC 294. El proyecto de investigación aplicada tiene como propósito innovar y dar viabilidad a la implementación y aprovechamiento de residuos de la industria de biodiesel para que sean utilizados como materia prima y combustibles alternos enfocados en minimizar la huella de carbono producido por la planta de Cemex en Cúcuta.

Palabras clave: Cemento, ecología, resistencia, biodiesel, calcinación.

Abstract

This research consisted of analyzing and determining the viability of bleaching and filtering soils as an alternative fuel and addition to cement. Biodiesel plants in their process require bleaching and filtering soils for their production; these residues are disposed of in landfills, and a possible solution to mitigate the environmental impact is to take advantage of them and give them an adequate use in this process. In this sense, the study of the application of these soils in the cement manufacturing process is proposed. Cement is a material that must comply with quality standards for its use, especially with high mechanical strength, which is its main physical property. In this project, bleaching and filtering earths, generated as waste in the biodiesel production process, were characterized, evaluating their calorific value, ash content and chemical structure using X-ray fluorescence. Subsequently, the most promising samples were activated and calcined at 950°C, taking advantage of their remaining fuel as an alternative and thus reducing the total energy expenditure of this stage of the process to finally be used as an addition in the cement, evaluating the effect of different concentrations on the mechanical properties such as compressive strength and chemical composition, taking into account that the cement must comply with the quality standards subject to the norms NTC 118, NTC 220 and NTC 294. The purpose of the applied research project is to innovate and give viability to the implementation and use of waste from the biodiesel industry to be used as raw material and alternative fuels focused on minimizing the carbon footprint produced by the Cemex plant in Cúcuta.

Keywords: Cement, ecology, strength, biodiesel, calcination

Contenido

Introducción	11
Descripción del Problema	12
Planteamiento del Problema	12
Sistematización del Problema	14
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco de Referencia	18
Marco Contextual.....	18
Proceso de Extracción y Trituración de las Materias Primas del Cemento.	19
Proceso de Prehomogenización	19
Proceso de Almacenado y Dosificación de la Materia Prima.....	19
Proceso de Molienda - Homogenización	20
Proceso de Producción del Clinker	20
Proceso de Molienda del Cemento	22
Proceso de Envasado.....	22
Tipos de Cemento	24
Tipos de Cementos Diferentes al Cemento Portland.	25
Reacciones Físicas en el Proceso del Cemento.....	26
Simbología Usada en la Industria del Cemento	27
Compuestos de Clinker	28
Ecuaciones de Bogue	28
Molienda Final de Cemento.....	31
Marco Teórico.....	33
Tierras de Blanqueo	33
Combustible Para el Horno.....	34
Técnica de Fluorescencia Rayos X.....	35
Marco Normativo.....	37
Metodología	39

Tipo de estudio.....	39
Método y Recolección de Datos	39
Proceso de Toma de Muestras	40
Resultados	44
Poder Calorífico de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes con el Carbón y Petcoke Realizados en Bomba Calorimétrica Bajo la Norma ASTM D5865 – 11 ^a	44
Cenizas de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes con las del Carbón y Petcoke Realizados en Mufla bajo la norma ASTM D 3174 – 00.	45
Caracterización de la Composición Química de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes y las Mezclas de su Adición en el Cemento Mediante Técnica de Fluorescencia de Rayos X. .	47
Resistencias Mecánicas bajo la Norma NTC 220 a las Mezclas de Cemento con Adición Tierra de Blanqueo y Filtrantes.....	50
Caracterización Física del Blanco y de la Mezcla de Cementos y Cenizas de Tierras Filtrantes y de Blanqueo	53
Conclusiones	57
Recomendaciones	58
Referencias Bibliográficas	59
Apéndices.....	66
Apéndice A	66
Apéndice B.....	68
Apéndice C.....	69

Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades Físicas y Método de Ensayo bajo norma para el Cemento de Uso General	25
Tabla 2. Simbología Química Usada en la Industria del Cemento	27
Tabla 3. Composición Química de las Muestras de Ceniza de Tierras Filtrantes y Blanqueo Comparadas con Cenizas de Carbon.....	45
Tabla 4. Propiedades Físicas Encontradas en las muestras del Blanco y las Cenizas de Mezclas con las tierras Filtrantes y de Blanqueo	54

Lista de Figuras

Figura 1. Zonas de Temperatura del Horno para la Producción del Clinker.....	21
Figura 2. Diagrama de Flujo del Proceso de Envasado de Cemento.....	23
Figura 3. Esquema de los Cambios Físicos en la Producción del Cemento.....	27
Figura 4. Reacciones Químicas de la Harina Cruda desde Precalentador al Enfriador de Clinker.....	30
Figura 5. Reacciones Químicas que Suceden en el Horno.....	31
Figura 6. Diagrama de Molienda Final del Cemento.....	32
Figura 7. Poder Calorífico de Combustibles Alternos.....	35
Figura 8. Esquema para la Realización de la Mezcla de Cemento Blanco y Tierras	41
Figura 9. Poder Calorífico de Diferentes Muestras de Combustibles en Comparación con las Tierras Filtrantes y de blanqueo.....	44
Figura 10. Preparación de la Mezcla para Usar la Fluorescencia de Rayos X	47
Figura 11. Analisis Químico del Blanco y Cemento – Cenizas Tierras de Blanqueo y Filtrantes.....	48
Figura 12. Resistencia Mecánica a la Compresión de las Mezclas en contrapartida con NTC 121:2014.....	50
Figura 13. Resistencias Cemento Blanco versus Cemento Puzolana.....	52

Introducción

Uno de los procesos que afecta el medio ambiente en la industria del cemento es el de la elaboración del clinker, debido a la generación de CO_2 durante la combustión del carbón en el horno. Para solventar este problema, la industria cementera ha buscado soluciones al respecto con el uso de combustibles alternativos o la minimización del factor de Clinker en la molienda de cemento con adiciones.

Las tierras filtrantes y de blanqueo se vislumbra como la posible solución a esta problemática, según varios estudios, se pueden emplear en la producción de biodiesel como materiales para absorber y eliminar pigmentos coloreados; también por sus características químicas que contienen $\% \text{SiO}_2$, $\% \text{AL}_2\text{O}_3$ y $\% \text{Fe}_2\text{O}_3$; se tiene que estas tierras pueden tener una reacción química de sustitución con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, las cuales tienen efecto en la resistencia mecánica del cemento, particularidad donde se concierne su uso como adición en la molienda de Cemento. Es así como, el uso de tierras filtrantes y de blanqueo generadas durante la producción del Clinker, se pueden emplear como parte de la materia prima en la producción del cemento de uso general, lo cual se demuestra mediante el empleo de técnicas y metodologías que se desarrollaron durante esta investigación.

Con base en lo anterior, la intención de este informe fue dar a conocer las diferentes características tanto físicas como químicas de las tierras en estudio, determinando la factibilidad de su uso como combustible alterno y a su vez como parte de una materia prima en el proceso de producción de cemento de uso general en la planta Cemex ubicada en los Patios, para tratar de minimizar buscando eliminar la huella de carbono en el medio ambiente.

Descripción del Problema

Planteamiento del Problema

Un tema que ha venido en auge tanto a nivel nacional, como internacional es el impacto de la industria en el medio ambiente, por ello las empresas y los entes gubernamentales han buscado la forma de que surja una nueva perspectiva respecto a las emisiones, subproductos y residuos generados dentro de los procesos de producción, por ello Montes (2018) indica que desde hace mas de cuarenta años el Estado Colombiano ha venido adelantando las normativas y leyes para que el impacto de las emisiones industriales sean lo más bajas posible. En particular, dos grandes industrias como la cementera y de biocombustibles han incluido entre sus objetivos la reducción de agentes contaminantes desde sus procesos de extracción donde inicia su proceso de producción hasta la fabricación del producto terminado.

En Colombia, los proyectos de infraestructura y construcción vienen en aumento, de acuerdo a lo expuesto por el DANE y el grupo Bancolombia en su Informe sectorial – Construcción (2020) quienes indican que “El 4T19 confirma la aceleración de la demanda de cemento en Colombia, impulsado durante 2019 por el segmento de obras civiles. Los despachos de cemento crecieron 4,2% a/a en 2019” (p. 2). Asimismo, este departamento pero en el 2023, indicó que la producción cemento gris en Colombia sobrepasó el millón de toneladas, aumentando esta cifra con respecto al mes mismo mes del año anterior.

Esto significa que se ha tenido una mayor producción de cemento lo que conlleva a mayores contaminantes con gases de efecto invernadero y mayor gasto energético, debido a que se requiere una temperatura de 1.450 °C en un horno de 30 Ton/h, requiriendo 4 Ton/h de carbón durante largos períodos para producir cemento.

La planta cementera en estudio:

Inicia operaciones en Colombia en el año 1996 con la compra de Cementos Diamante, y Cementos Samper, convirtiéndose en el segundo mayor productor del sector, y líder de los mercados más dinámicos, como Bogotá. Actualmente consta de 5 plantas cementeras (Tolima, Cundinamarca, y Los Santanderes), obteniendo de ellas una capacidad instalada de 4.8 millones de toneladas por año. Adicionalmente tiene operaciones de concreto y agregados. La cementera es uno de los líderes mundiales de producción de cemento, con presencia en todos los continentes del mundo. (www.cemexcolombia.com, 2023, s/p).

Esta cementera se encuentra buscando continuamente reducir lo más posible los contaminantes que se generan en el horno ya que se presentó en una de sus sucursales una demanda que les costó una sentencia que fue porque:

No implementaron sistemas adecuados para controlar que sus chimeneas no expulsaran residuos sólidos que terminaron llegando a los cultivos de arroz. A raíz de esta contaminación con carbonato de calcio, las plantaciones perdieron su capacidad productiva por lo que se hizo necesario comprar mayores cantidades de, lo que llevó a disminuir su competitividad y a migrar hacia otros productos distintos al arroz. (portafolio.co, 2022; s/p).

Asimismo, complementan indicando que;

La corporación señaló que las cementeras omitieron instalar filtros e implementar mecanismos para evitar la emisión de carbonato de calcio, sustancia contaminante que salió de sus hornos de procesamiento y cayó sobre los predios colindantes, lo cual evidencia un comportamiento contrario a la diligencia que se espera de una empresa conocedora de la actividad de procesamiento de minerales. (portafolio.co, 2022; s/p)

Por ello la industria cementera tiene la necesidad de buscar alternativas para minimizar la producción de CO₂ al ambiente durante su proceso de producción, por ello se tiene que, en cuanto a la industria de aceites y combustibles, (Cortés y Torres, 2016), afirman que, durante la etapa de refinación del aceite comestible, se generan tierras de blanqueo, el cual es fundamental ayuda en la calidad de los aceites vegetales comestibles sin importar la práctica que se les da a las tierras al terminar su proceso. Este proyecto de investigación busca la manera de aprovechar

estos residuos como combustibles alternativos en otras empresas para minimizar el impacto medioambiental.

De acuerdo con lo descrito por Haro, De la Torre, Aragón, y Guevara (2014), las tierras empleadas como decolorantes “son depositadas como residuos. Anualmente en el mundo, cerca de 100 mil toneladas de grasas y aceites se desechan junto con las tierras de blanqueo. Además de ser un contaminante ambiental, este residuo es peligroso ya que el aceite contenido presenta riesgo de explosión” (p. 2), pero que este tipo de tierra también puede ayudar a reducir el impacto mediambiental.

Sistematización del Problema

Ante la problemática planteada y buscando procesos de mejora en la industria cementera se plantean las siguientes interrogantes:

¿Cómo será el poder calorífico entre las tierras de filtrantes y de blanqueo versus el carbón y petcoke en la producción del cemento?

¿Cómo será la caracterización de la mezcla final entre las tierras de blanco, filtrantes, carbono y petcoke?

¿Cuáles serán los beneficios del uso de las tierras de blanqueo y filtrantes en la producción del cemento en cuanto a impacto ambiental?

Justificación

Las tierras filtrantes se han empleado de forma óptima para hacer la refinación del aceite crudo del salvado de arroz, donde su empleo durante la producción se consigue mejorar aspectos como olor, color, textura en los aceites (Rodríguez, 2018) y como desechos de éste se pueden usar en otros procesos. Este trabajo implica la investigación de un estudio viable del uso de combustible alternativo del horno en las plantas cementeras como las tierras de blanqueo y filtrantes al reemplazar una parte de combustible fósil. Se tiene, según estudios de Haro, De la Torre, Aragón, y Guevara, (2014) que las tierras filtrantes en su composición química.

En la arcilla de blanqueo natural tiene: Silicio (35.6%), aluminio (10.5%), hierro (6.5%), magnesio (4.4%), potasio (1.4%), calcio (0.9%) y sodio (0.1%) y que las fases mineralógicas principales son montmorillonita 37%, paligorskita 26% y cuarzo 10%, además, este adsorbente contiene cantidades menores (aproximadamente 10%) de restos fósiles de estructura amorfa. (p. 18)

Por lo tanto, al tener fases mineralógicas de montmorillonita la calidad del cemento en cuanto a sus resistencias mecánicas mejoraría. Partiendo de lo anterior, se innova un proyecto de investigación que consiste en minimizar con miras de acabar totalmente la contaminación desde su inicio, a través del empleo del residuo de tierras de blanqueo y filtrantes como combustible alternativo al horno, ocasionando la disminución de la huella de carbono y por consiguiente la de CO₂ a la atmósfera, asimismo se estaría ayudando a la eliminación de otros residuos ocasionados en las refinerías de plantas de biocombustibles contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

La disminución del CO₂ en la industria cementera se lograría reduciendo el factor de Clinker, ya que su producción emite 695 kg de CO₂/ton de cemento y el uso de las tierras de blanqueo y filtrantes para conseguir esto sería una forma de ayudar a reciclar aquellos elementos que se consideran desechos por las plantas de biocombustibles. De acuerdo con lo anterior, el proyecto tiene viabilidad económica porque la empresa disminuiría costos en compra de Clinker

y en la molienda se consumiría menos energía por el alto poder calorífico que contienen estos residuos, mientras que en el impacto social se contribuye con la compra de los residuos sólidos de tierras de blanqueo y filtrantes de biocombustibles a pequeñas y grandes plantas. En el impacto tecnológico sería producción de cemento ecológico disminuyendo así la emisión de CO₂ a la atmosfera y a gran escala la contaminación ambiental ya que según minambiente.gov.co (2023) este tipo de contaminación atmosférica “es el tercer factor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales” (párr.1).

De este mismo modo, investigaciones como la de Eliche, Corpas, Perez e Iglesias (2012) refuerza el uso de tierras de blanqueo y filtrantes en la fabricación de ladrillos como agente formador de poros y precursor de sílice, generando mejoras en la resistencia mecánica. Ante esto, esta investigación pretende que durante producción de cemento se centren en la viabilidad del manejo de tierras de blanqueo y filtrantes desechados por las plantas de biocombustibles para ser usado como un nuevo componente de materia prima en la producción de los cementos Portland. Dado esto, se pretendió ejecutar un estudio de dichas tierras como combustibles alternos al horno donde se produce el Clinker, verificando su comportamiento mecánico y durabilidad para confirmar su utilización como elemento innovador de materia prima en el cemento en la Planta Cemex Cúcuta.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el uso de las tierras de blanqueo y filtrantes como combustible alternativo y adición para aportar a la disminución de emisiones de CO₂ y a la resistencia mecánica del cemento en la Planta Cemex Cúcuta.

Objetivos Específicos

Comparar el poder calorífico y el porcentaje de cenizas de las tierras de blanqueo y filtrantes con el Carbón y Petcoke realizados en bomba calorimétrica bajo las Normas ASTM D5865 – 11^a y ASTM D 3174 – 00.

Caracterizar la composición química de las tierras de blanqueo y filtrantes y las mezclas de su adición en el cemento empleando la fluorescencia de rayos X cumpliendo con los parámetros establecidos por NTC 184:2023.

Realizar análisis de resistencias mecánicas bajo la Norma NTC 220:2022 a las mezclas de cemento con adición de tierra de blanqueo y filtrantes, como parámetro de viabilidad de su uso, y cumpliendo con los límites permitidos de resistencias de la NTC121:2021.

Marco de Referencia

Marco Contextual

El marco contextual no es más que describir el lugar donde ocurre la investigación y/o los hechos (courseware.url.edu.gt, 2023), por ello, en los párrafos siguientes se explica información generalizada de la empresa donde se realizó el trabajo así como el proceso productivo .

Como ya se ha vislumbrando en otros apartados, la investigación se realizó principalmente en la Empresa Cemex, la cual su fuerte de producción es el Cemento, tiene como visión:

Cemex es una compañía global de materiales de construcción comprometida con brindar soluciones innovadoras y sostenibles para la industria. Ofrecemos productos y servicios de alta calidad que superan las expectativas de nuestros clientes a través de nuestro enfoque de producción y distribución verticalmente integrada, y que combina nuestra experiencia en cemento, concreto, agregados y Soluciones Urbanas. Nuestro propósito es construir un mejor futuro para todas nuestras partes de interés: nuestros empleados, clientes, accionistas, inversores, proveedores y las comunidades en las que vivimos y trabajamos para marcar la diferencia en cada región en la que estamos presentes. (<https://www.cemex.com/es/acerca-de-cemex>, 2023, párr. 1)

En cuanto a su portafolio esta empresa:

Nuestros productos de alta calidad y nuestras soluciones innovadoras tienen como objetivo superar las expectativas de nuestros clientes y satisfacer de manera sostenible las crecientes necesidades de la sociedad. Ofrecemos una gama de productos y soluciones que reflejan nuestro profundo compromiso con la sostenibilidad y la innovación. Nuestra cartera de productos cubre toda la cadena de valor de la construcción y se enfoca en: cemento, concreto, agregados y Soluciones Urbanas. (<https://www.cemex.com/es/acerca-de-cemex>, 2023, párr. 4)

Esta planta tiene una gran presencia en América, el Caribe, Europa, África, el Medio Oriente y Asia, a través de sus cuatro principales productos, así como en Colombia que tiene una planta en ubicación en Los Patios que es donde se enfocó la actual investigación. Ahora, se

describirá a groso modo las diversas etapas que comprende la producción del cemento enfocado en como se realiza en Cemex.

Proceso de Extracción y Trituración de las Materias Primas del Cemento.

Las calizas y esquisto que son materias primas se extraen de una mina, se llevan a la planta por medio de un equipo denominado dumper y se depositan en Tolvas de recepción de Material en este caso Caliza y Esquisto respectivamente, son transportadas por un alimentador vibratorio quien da el paso del material a la Trituradora Primaria que es la de Quijada que reduce el material de 1 metro a 6 pulgadas, a través de banda transportadoras llegan a una trituradora secundaria o de Cono que reduce su tamaño a 1-1.5 pulgadas.

Proceso de Prehomogenización

En banda transportadora el material pasa por un analizador en línea que es un equipo de rayos gamma que trabaja bombardeando el material y en 30 segundos da el resultado de la composición química del mismo, en óxidos como % CaO, % SiO₂, % Fe₂O₃, % Al₂O₃; luego pasa al domo de prehomogenización donde se va apilando con un apilador circular y un reclamador frontal, quien por el método Chevron el material se apila en capas donde se realiza una clasificación por cada capa de la calidad del material.

Proceso de Almacenado y Dosificación de la Materia Prima

La Caliza es almacenada en el domo de Prehomogenización, y los correctores tales como esquistón, bauxita y mineral de hierro son acopiados en patio de almacenamiento con reclamador y apilador lineal, a través de bandas transportadoras son depositadas hacia tolvas, estas materias primas son dosificadas por lo general así, La Caliza con 90% de CaCO₃, junto a sus correctores como la Bauxita 4% de Al₂O₃, Mineral de Hierro 2 % de Fe₂O₃ y Esquisto 4 % de SiO₂, y

también según el tipo de cemento que se necesiten producir a pedido del cliente. Estas materias primas son llevadas por bandas transportadoras hacia el Molino.

Proceso de Molienda - Homogenización

En el molino vertical se pulveriza la materia prima, el tamaño de partícula debe estar del 80% pasante en malla de 75 micras, luego este material finamente pulverizado se le llama harina cruda, que es transportada por aerodeslizador a través de un elevador de cangilones, llega a una caja de distribución de salida donde el material es almacenado en el silo de homogenización.

Aquí se reduce la variabilidad del material, la cual ingresa de 10 % y sale de 1 % de desviación estándar. Seguidamente este material llega a una tolva donde es depositada el material para luego ser alimentado a la torre de precalentamiento, esta torre consta de 5 ciclones, la función de estos es la de transportar y secar el material, y como va aumentando la temperatura gradualmente del ciclón 1 al 4, es allí donde se realizan cambios químicos por las reacciones en los materiales, luego del ciclón 4 pasa a un Calcinador que está a una temperatura 950 -1050 °C donde ocurre la descarbonatación el CaCO_3 pasa a CaO , luego el materia pasa al ciclón 5 que es alimentado al Horno.

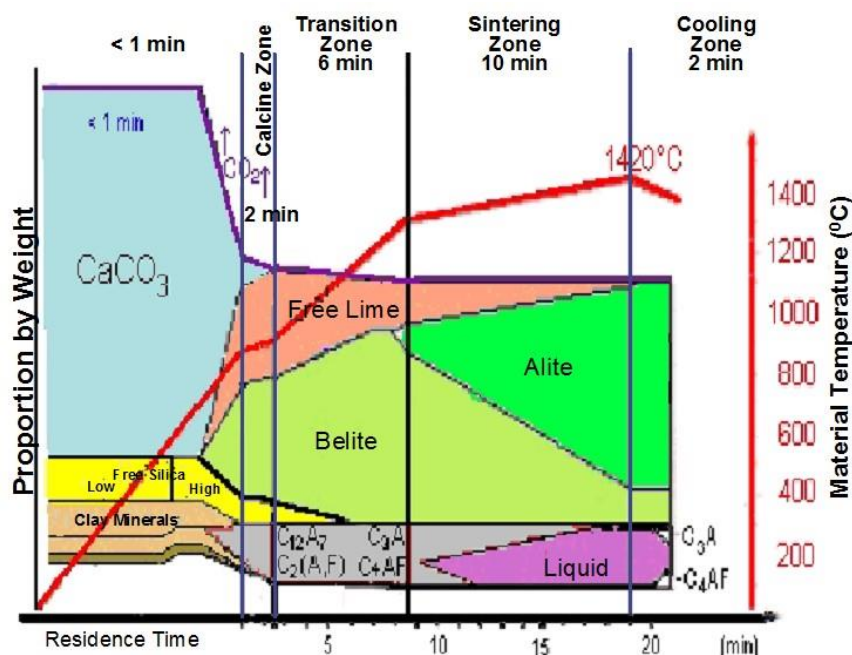
Proceso de Producción del Clinker

En este proceso se tiene que por medio de altas temperaturas entre 1400°C y 1600°C que debe tener el horno, la harina se convierte en Clinker la cual es una composición de roca pequeña cristalizada, redonda y gris. El quemador es el que genera la llama hasta una temperatura de 1450°C aproximadamente, el combustible que se usa en el horno es el carbón de alquitrán. En el horno se tienen 4 zonas, la primera que la de transición donde se hace el complemento de la descarbonatación, donde sucede una alta de temperatura a gran velocidad hasta alcanzar el punto de fusión de la fase líquida. La Nodulización, que es la aglomeración del material formando

nódulos. La Tercera zona que la Clinkerización, donde se tiene la zona de máxima temperatura y formación de Clinker y finalmente, la última zona que la de Enfriamiento, donde se solidifica la fase líquida y congelamiento de las fases mineralógicas formadas.

Figura 1

Zonas de Temperatura del Horno para la Producción del Clinker.



Nota: Tomado de Cemex (2023)

Este material sale del horno y llega al enfriador Croosbar que contiene 6 sopladores de aire, que por movimiento de las parrillas va enfriando el material, luego es enviado a un transportador de cadena hacia un domo de almacenamiento de clinker.

Este adecuado método de recirculación de gases residuales que salen del horno pasan por el enfriador, allí están a temperatura de 380°C , luego por el intercambiador de Aire-Aire quien los baja a 150°C a 180°C , gracias al vti id de aire residual son direccionados por ductos que van hacia molienda de crudo y cemento, estos gases se utilizan para transportar y secar el material dentro de los molinos, dado esto se está optimizando el proceso.

Proceso de Molienda del Cemento

Luego del proceso de obtención del Clinker en el horno a temperaturas elevadas, este se almacena para luego pasar a través de un Molino de rodillos Vertical para moler éste con yeso, el cual actúa como un retardador de fraguado, la dosificación del Clinker lo determina el tipo de cemento, si se requiere un cemento uso general para realizar casas, pisos se dosifica Clinker 55%, yeso 3%, caliza 42%. Si es cemento alta resistencia temprana para puentes, edificios, se dosifica Clinker 96%, yeso 3.5%, caliza 0.5%, estos materiales son molidos a un tamaño de partícula 95% de pasante en 45 micras en malla 325 y transportador por aerodeslizadores hacia silos de almacenamientos.

Proceso de Envasado

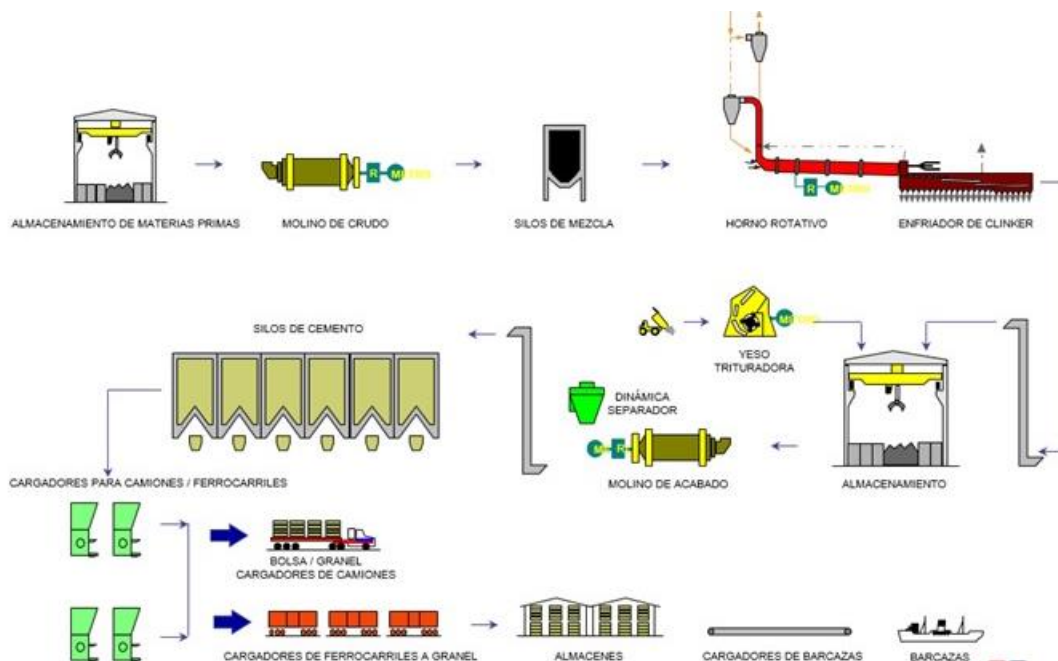
El material disponible para ser envasado pasa directamente a una tolva que está en la parte superior de una Envasadora que consta de cuatro turbinas ubicadas horizontalmente el cual permite el paso de cemento a través de una boquilla hacia el saco de papel estos sacos se envasan en presentaciones de 42.5 y 50 kg, para ello se tienen celdas independientes en cada boquilla cuando se tiene el peso indicado se cierra automáticamente la boquilla dejando caer el saco a una banda transportadora el cual direcciona los sacos a una banda limpia sacos el cual está compuesta de 2 rodillos horizontales y dos rodillos verticales cada 1 con kit de limpieza que actúan de forma giratoria sobre el saco de cemento en el momento que es transportado por la banda, los residuos que son generados hasta esta parte del proceso son transportados a través de un sinfín ubicado en la parte inferior de la envasadora direccionando todos los residuos del proceso a la base de un elevador de cangilones vertical recirculando este material hacia el Tromel el cual se encuentra ubicado en la parte superior, todo el proceso envasado está

conectado a un filtro de mangas que se encarga de despresurizar y desempolvar el sistema tales como lo es el sistema de limpia sacos que genera polución.

Continuando con el proceso cuando el saco sale limpio continúa la línea llegando hasta un transportador de rodillos que es controlado por sensores para posicionar el saco, donde posterior a esto es tomado por el robot paletizado, en esta sección se cuenta con dos líneas de paletizado, una ubicada al lado derecho y otra al lado izquierdo del robot este equipo se encarga de acomodar 5 sacos de cemento en cada piso y así mismo los va trocando hasta completar una altura de 8 pisos, la duración de este paletizado es aproximadamente de 8 minutos y al completar esta actividad el robot es direccionado automáticamente hacia la otra línea realizando la misma actividad mientras un equipo móvil retira la estiba (Cemex, 2023).

Figura 2

Diagrama de Flujo del Proceso de Envasado de Cemento



Nota: Tomado de Cemex Planta Los Patios (2023).

Tipos de Cemento

Utilizando la norma técnica 121:2021, los cementos hidráulicos de acuerdo con sus propiedades físicas se tienen que son:

Tipo UG: cemento hidráulico para construcción general. Se utiliza esta clasificación cuando uno o más de los tipos especiales no sean requeridos.

Tipo ART: Alta resistencia temprana.

Tipo MRS: moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo ARS: Alta resistencia a los sulfatos.

Tipo MCH: Moderado calor de hidratación.

Tipo BCH: Bajo calor de hidratación. (p. 5)

Como complemento a todo lo que es el proceso productivo del cemento, se debe indagar acerca de la composición que tiene éste, para esto de acuerdo a Duda (1977), citado por Valdivia y Valdivia (2014):

Para fabricar cemento pueden utilizarse tanto minerales de origen natural como productos industriales. Como materiales de partida sirven sustancias minerales, que contienen los componentes principales del cemento: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , y Fe_2O_3 (cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro). Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas, en una sola sustancia. Por lo tanto, la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (Componente Calcáreo) con otro pobre en cal pero que contiene más Al_2O_3 y Fe_2O_3 (componente arcilloso). Estos dos componentes son por regla general, la caliza y la arcilla. (p. 14)

La Norma Técnica Colombiana NTC 121 es la que se preside todo lo concerniente al cemento, donde se indica los tipos de adiciones que se pueden agregar a la mezcla para la generación de los cementos, mencionando entre estos aditivos a las puzolanas naturales o artificiales, estas son “un material silíceo o silico-aluminoso, que por sí solo posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente dividido y en medio húmedo a temperatura ordinaria, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, formando un compuesto con propiedades cementantes” (www.360enconcreto.com, 2023, párr. 1)

Dentro de la mencionada norma se tienen los requisitos físicos que deben cumplir los diferentes tipos de cementos así como los métodos de ensayo aplicables, indicándose la NTC bajo la cual debe realizarse, los usados en este proyecto de investigación para el cemento de uso general se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Propiedades Físicas y Método de Ensayo bajo norma para el Cemento de Uso General.

N°	Propiedad Física que debe Cumplir el Cemento	Norma Técnica bajo la que debe hacerse el Ensayo	Valor del Requisito Requerido
1	Finura	NTC 33 NTC 294	Los resultados de retenidos en tamizado deben ser informados en todos los certificados que le sean requeridos al fabricante
2	Tiempo de fraguado bajo el ensayo de Vicat	NTC 118	
2.1	Inicial, no menos de		45 min.
2.2	Inicial, no más de		420 min.
3	Resistencia a la compresión	NTC 220	
3.1	1 día		N.A
3.2	3 día		8 MPa
3.3	7 día		15 MPa
3.4	28 día		24 MPa

Nota: Tomado de la Norma NTC 121:2014, (p. 5 y 6)

Tipos de Cementos Diferentes al Cemento Portland.

Es importante conocer los tipos de cemento, para ello a continuación se dará una breve descripción de ellos.

Cemento de Aluminato de Calcio. Para Sanjuan y Chincon (2014) este tipo de cemento:

produjo por primera vez en Francia durante la primera guerra mundial. La base fue una patente del químico francés Jules Bied, alumno de Le Chatelier, quien en 1908 descubrió que los fundidos cristalizados con la composición de aluminato monocálcico podían endurecer hidráulicamente y alcanzar una resistencia temprana muy elevada (p. 15).

Cementos Expansivos. Los cementos expansivos “suelen contener una gran cantidad de sulfatos y aluminatos en su composición” (SanJuan y Chinchon, 2014, p.15)

Cementos de Fraguado Controlado. Para SanJuan y Chinchon (2014) “En estos cementos lo que se busca es que el fraguado transcurra en un tiempo determinado” (p. 16)

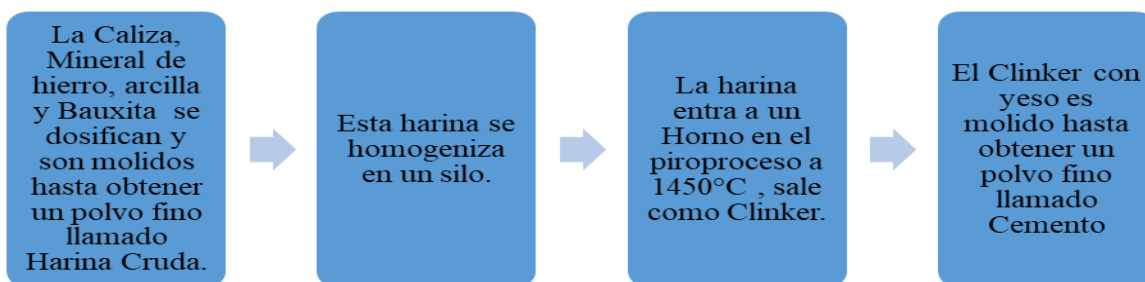
Cemento Portland con Alta Resistencia a la Acción de los Sulfatos. Para los autores antes mencionados contiene “una reducida cantidad de óxido de aluminio y una gran cantidad de óxido de hierro, así resultaba un módulo de fundentes (relación Al/Fe) de tan sólo 0,30. Las propiedades de este cemento son similares a las del cemento Ferrari” (SanJuan y Chinchon, 2014, p. 16)

Cemento sobre sulfatado. Este cemento en concordancia con SanJuan y Chinchon (2014) “una mezcla de escoria granulada de horno alto, enfriada rápida y altamente vitrificada mezclada con cal viva calcinada puede adquirir una resistencia considerable” (p. 16).

Cemento Puzolánicos. Este cemento tiene contenidos de puzolanas que hacen que éste sea mas resistente o con mayor durabilidad química, entre las puzolanas naturales se tienen las cenizas volcánicas, trípoli, diatomitas, radiolaritas. Entre las artificiales están la escorias de alto horno, Fly ash, cenizas cascarilla de arroz, silica fume, nanopartículas, metacaolín, (SanJuan y Chinchon, 2014).

Reacciones Físicas en el Proceso del Cemento

En la figura 3 se muestran las diferentes reacciones físicas que suceden durante producción del cemento.

Figura 3*Esquema de los Cambios Físicos en la Producción del Cemento*

Nota: Elaboración propia.

Simbología Usada en la Industria del Cemento

En este tipo de empresa se tiene una gran cantidad de abreviaturas y fórmulas químicas que comprende el proceso de fabricación del cemento, en la Tabla 2 se presenta la taquigrafía utilizada en los análisis químicos.

Tabla 2*Simbología Química Usada en la Industria del Cemento*

Oxido	Fórmula Química	Simbología
Dióxido de silicio	SiO ₂	S
Óxido de aluminio (alúmina)	Al ₂ O ₃	A
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	F
Óxido de calcio (cal)	CaO	C
Óxido de magnesio	MgO	M
Óxido de sodio	Na ₂ O	N
Óxido de potasio	K ₂ O	K
Carbonato	CO ₃	\overline{C}
Sulfato	SO ₃	\overline{S}
Óxido de titanio	TiO ₂	T
Óxido de fosforo	P ₂ O ₅	P
Agua	H ₂ O	H

Nota: Extraído de Cemex (2023)

Compuestos de Clinker

El proceso de clinkerización conlleva cambios en la estructura química de la materia prima a Clinker con los que se va estudiar el uso de tierras filtrantes, por ello es necesario conocerlos, a continuación se muestran los diferentes compuestos que tiene el Clinker de acuerdo a lo que maneja la planta Cemex (2023)

- C_3S (alita)
 - $3CaO \cdot SiO_2$
 - Silicato tricálcico
- C_2S (belita)
 - $2CaO \cdot SiO_2$
 - Silicato dicálcico
- C_3A (aluminato)
 - $3CaO \cdot Al_2O_3$
 - aluminato tricálcico
- C_4AF (ferrita)
 - $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
 - Ferrita de aluminio tetracálcico

Ecuaciones de Bogue

De acuerdo a Tobón y López (2007), “las ecuaciones de Bogue fueron creadas para calcular el porcentaje de las fases minerales del clinker asumiendo que las materias primas utilizadas tienen una pureza del 100% y que las reacciones son completas” (p. 53). En Cemex se usan estas ecuaciones para controlar los módulos saturación de cal, sílice y alumina en el horno donde se produce el Clinker, las ecuaciones que ésta empresa maneja se muestran a continuación.

C_3S (álita)

$$C_3S = 4.071C - (7.6S + 6.718A + 1.43F + 2.852\bar{S})$$

C_2S (belita)

$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S$$

C_3A (aluminato)

$$C_3A = 2.65A - 1.692F$$

C_4AF (ferrita)

$$C_4AF = 3.043F$$

Nota: las constantes se derivan de relaciones molares (es decir, estequiometría), por ejemplo, $3CaO \cdot SiO_2 = 228,32$, $CaO = 56,08$, relación = 4,071.

C_3S (alita)

Hidrata (reacciona con el agua) y se fija rápidamente.

Responsable de los tiempos establecidos y el desarrollo de la fuerza a corto plazo.

Más C_3S generalmente significa mejores fortalezas a corto plazo.

Componente principal de resistencia en el cemento.

C_2S (Belita)

Hidrata y fragua más lento que C_3S .

Contribuye en gran medida a la fuerza más allá de los 7 días.

Importante para la durabilidad del concreto.

C_3A (Aluminato)

Hidrata y fragua rápidamente: el concreto se calienta rápidamente.

C_3A más bajo reducirá la demanda de agua del hormigón y aumentará la resistencia al embate de los sulfatos.

Contribuye ligeramente a las fortalezas a corto plazo.

C_4AF (ferrita)

Actúa como un fundente (como el que se usa en la soldadura) para dispersar el calor y reducir la energía necesaria para fabricar clinker.

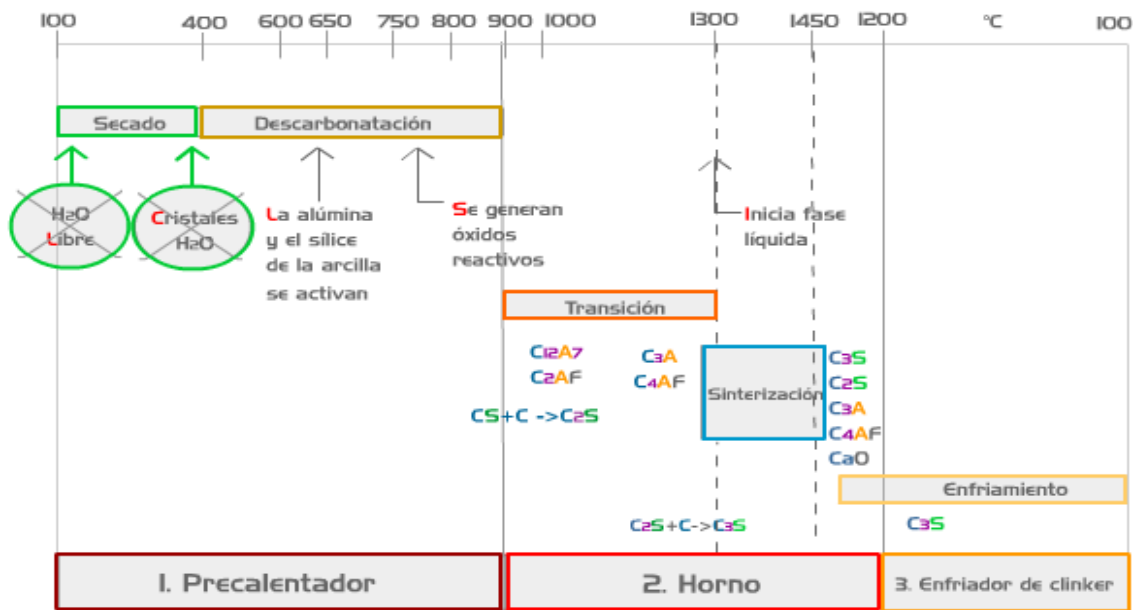
Rige el color del cemento: cuanto más C_4AF , más oscuro es el cemento.

No contribuye a las resistencias.

A continuación también se puede observar en la figura 4 y 5 las reacciones químicas de la harina cruda y de lo que sucede en el horno respectivamente.

Figura 4

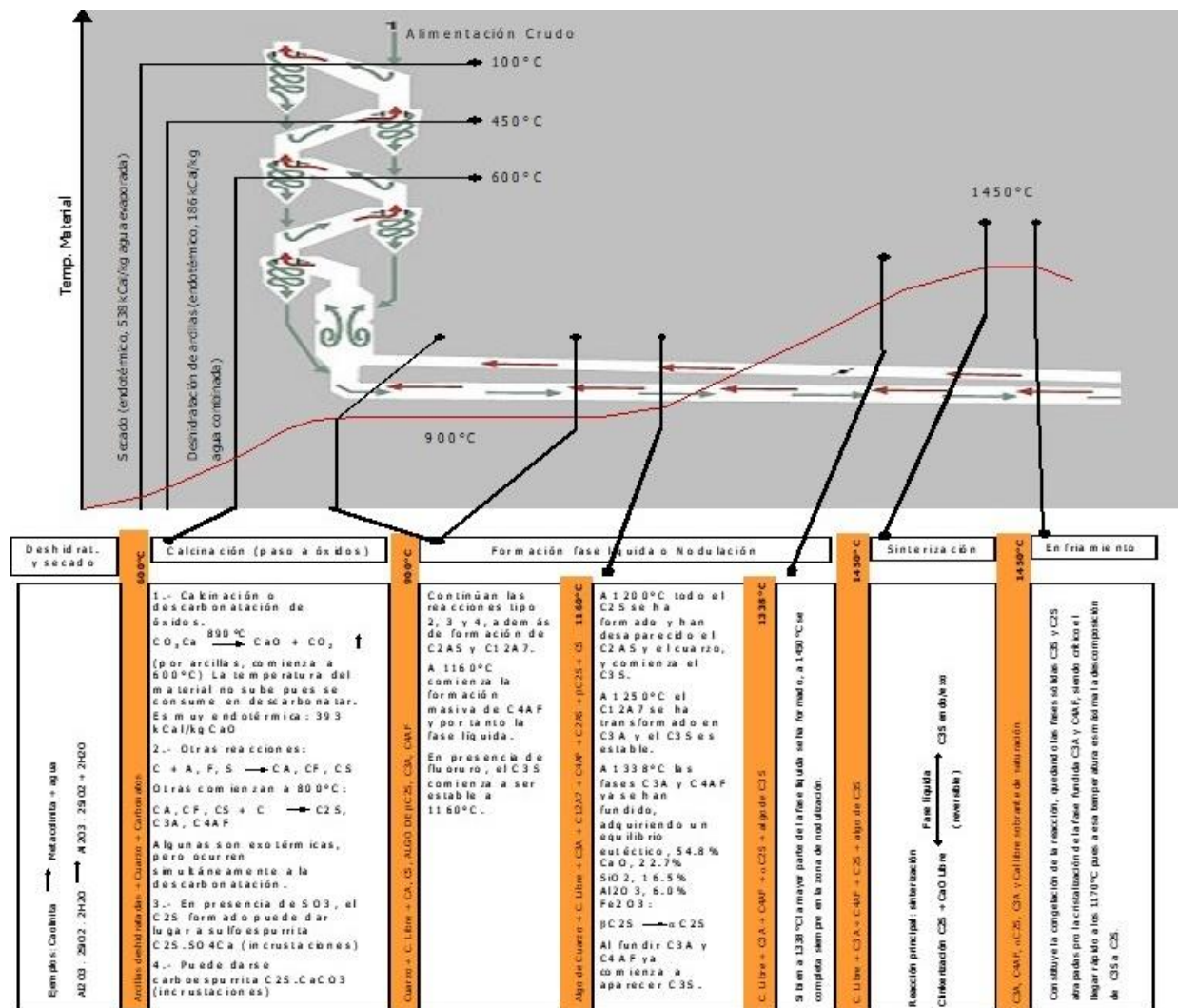
Reacciones Químicas de la Harina Cruda desde Precalentador al Enfriador de Clinker



Nota: Tomado de Cemex (2023)

Figura 5

Reacciones Químicas que Suceden en el Horno



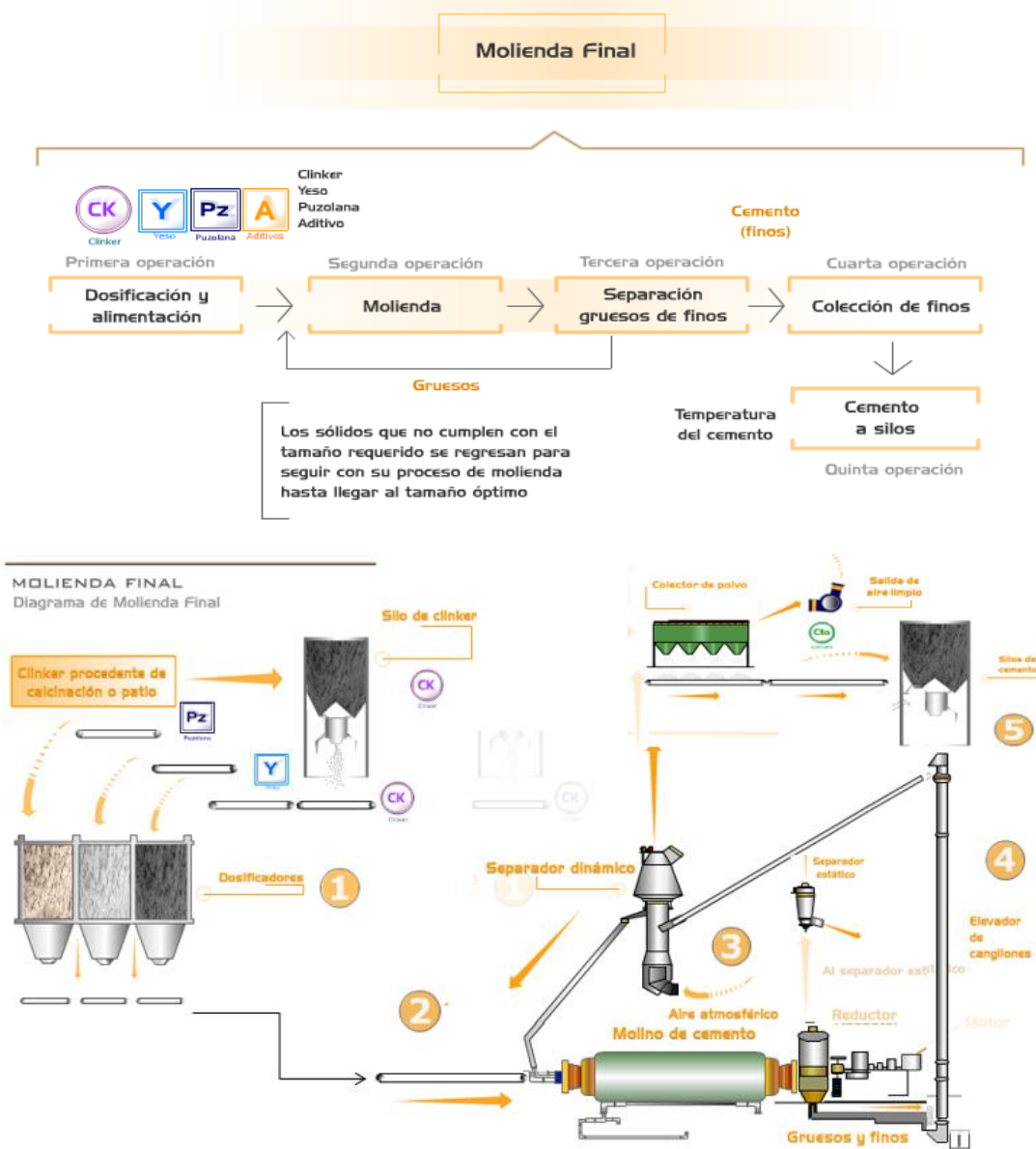
Nota: Tomado de Cemex (2023).

Molienda Final de Cemento

En la figura 6 se muestra lo que es proceso de molienda final del Cemento como se esquematiza en la empresa.

Figura 6

Diagrama de Molienda Final del Cemento.



Nota: Tomado de Cemex (2023)

Marco Teórico

En el marco teórico se explican las teorías de referencia para el desarrollo del proyecto, las cuales se describirán en los siguientes párrafos.

Tierras de Blanqueo

Las tierras o arcillas de blanqueo se emplean ampliamente en la industria del aceite vegetal dado su poder aclarante y que mejora el sabor de estos, para Hernandez e Isturiz (2022) estas tierras:

Por sus condiciones físicas, posee características y propiedades que la hacen idóneas para la absorción de ciertos componentes no glicéridos e impurezas, tales como carotenoides, clorofilas, ácidos grasos libres fosfolípidos e hidro-peróxidos, con ello se asegura que el aceite cumpla los requisitos necesarios para lograr la calidad del producto final (p. 1)

Para Volcan (2018):

Para la purificación de aceites vegetales se utilizan diferentes tipos de tierras decolorantes, que se componen generalmente de una o más de tres tipos de minerales de arcilla de origen natural, de la familia de las esmectitas (montmorillonita, nontronita, hectorita y saponita) y de las palygorskitas (atapulgita, y sepiolita). También se utilizan las tierras de diatomeas naturales activadas (p. 66).

Asimismo, para complementar, Hernandez e Isturiz, (2022) afirman que

Las arcillas de blanqueo pueden llegar a retener entre 30-45 % del aceite refinado y una vez empleada en el proceso de blanqueo son dispuestas en vertederos a cielo abierto sin ningún método de valorización. Este comportamiento de consumir y desechar está cambiando y se comienza a visualizar a los residuos industriales como materiales con valor agregado que pueden ser aprovechados en distintos procesos y con ello promocionar economías secundarias a partir de las propiedades de los residuos (p. 4)

Es así como lo descrito por los autores es lo que se quiere en este proyecto, donde a partir de desechos para unos sea materia prima para otro tipo de industria.

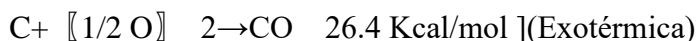
Combustible Para el Horno

El poder calorífico de los combustibles es crucial para una buena combustión en el horno, porque es la cantidad de calor que requiere un kilogramo para poder realizar la reacción. La principal reacción involucrada del Carbón hasta dióxido de carbono, pasando siempre por monóxido de carbono es :



La reacción puede no completarse por diferentes causas como:

Falta de Oxígeno



Existen diferentes combustibles cada uno tiene sus características diferenciadas, a saber (Cemex, 2023).

Carbón. Los carbones de alto rango, con un poder calorífico mayor a 6.390 Kcal/Kg., se incluyen los carbones bituminosos y antracitas. (Cemex, 2023)

Petcoke. Residuo de refinería del petróleo y su poder calorífico está en un rango de 7.800 a 8.300 Kcal/Kg. (Cemex, 2023)

Combustóleos. El tercer combustible industrial es el combustóleo. Tipo No. 6 Bunker C, de muy baja calidad en el mercado nacional, es económico, altamente contaminante por contener alto contenido de azufre (corrosión) ceniza, asfalto y lodos. Requiere de mantenimiento, vigilancia y limpieza de filtros y boquillas continuos. Tiene un poder calorífico de 10.400 Kcal/Kg. (Cemex, 2023)

Gas Natural. Es el mejor combustible industrial para una caldera. El gas natural es económico, ecológico y seguro. Para poderlo quemar, debe llegar entubado hasta su planta. El poder calorífico está en un rango de 8.540 a 9.550 Kcal/Kg. (Cemex, 2023)

Combustible Alternos. Son materiales que contienen carbón y tienen un poder calorífico aceptable en un rango de 3.200 a 5.000 Kcal/Kg. Dichos combustibles pueden ser lubricantes desperdicios, neumáticos, residuos industriales, cascarilla de arroz, Tierras de Blanqueo y filtrantes) (Cemex, 2023).

En la siguiente figura, se presenta el poder calorífico de los diferentes combustibles alternos.

Figura 7

Poder Calorífico de Combustibles Alternos.

⊕ Alternos sólidos

	Tamaño (mm)	% Substitución Max.	PCI (Kcal/kg)
Poliiolefinas (Polietileno y polipropileno)	< 7	20	8000 - 9600
Gomas sintéticas (Poli-isopropeno y polibutadieno)	< 7	20	
Poliestirenos plásticos o expandidos	< 7	18	
Cloruro de polivinilo (PVC)	< 3	5	
Acrílicos (Fibras y plásticos)	< 7	9	
Plásticos celulósicos	< 7	5	
Madera/papel/cartón	< 7	20	3600
Poliéster	< 7	15	8000 - 9600
Resinas Epoxi ó fenólicas	< 2	12	
Poliamidas (Nylon, lana sintética)	< 2	12	
Poliuretano	< 7	9	
Llantas Trituradas	< 100	10	6700 - 8000
Llantas enteras	-	5	

Nota: Tomado de Cemex (2023).

Técnica de Fluorescencia Rayos X

Es una técnica que se trabaja con un Espectrómetro de Fluorescencia de rayos-X por dispersión de longitud de onda (FRXWD) secuencial marca Axios Max de Panalytical para el

análisis elemental de materiales a partir del F al U en un amplio rango de concentraciones desde el 100% a ppm. Tiene como capacidad analítica: análisis cualitativo, análisis semi-cuantitativo y análisis cuantitativo. (www.inin.gob.mx, 2023)

Dentro del equipamiento para preparación de muestras se tiene:

- Muestras fundidas: Sistema automático de fusión operado con microprocesador, tres quemadores y temperatura ajustable hasta 1100°C.
- Muestras prensadas: Prensa con capacidad de presión de 30 Tons y diámetro de pastillas de 37mm.

Dentro de las características del espectrómetro de FRX se tiene:

- Tubo de rayos-X: Ánodo de Rodio con ventana frontal de Be.
- Cristales analizadores: LiF200, LiF220, Ge, PET, PX1.
- Filtros: bronce 100, 300, aluminio 200.
- Colimadores: 100, 700
- Detectores: Flujo y Centelleo
- Generador: 60kV, 125mA, 4kW.
- Software Super Q: Análisis Cualitativo y Cuantitativo.
- Software IQ+: Análisis semi-cuantitativo.

Su campo de aplicación es muy amplio y engloba a la Ciencia de Materiales, Química Inorgánica, Química Orgánica (Polímeros), Mineralogía, Geología, Edafología, Química, Industrial, Metalurgia, Cerámica y Materiales, Arqueometría, Ciencias Ambientales. Las muestras pueden estar en forma de sólidos, pastillas, polvos y películas finas. La forma y el tamaño puede ser muy variable (máximo 4cm). La muestra puede ser depositada en papel de filtro, celulosa o resinas de intercambio catiónico (Rivera, 2023).

Entre las ventajas que tiene el análisis por FRX que cuenta con un amplio campo de aplicación, ya que es aplicable a cualquier elemento químico con número atómico mayor que Flúor. Relativa simplicidad del espectro de emisión de rayos-X, ya que en general cada elemento presenta pocas líneas y su posición no depende del tipo de compuesto en el que se encuentre el elemento y finalmente las interferencias espectrales se pueden detectar y corregir (www.inin.gob.mx, 2023).

Marco Normativo

Toda la investigación se basó en las Normas Nacionales e Internacionales que se mencionan a continuación.

Norma NTC 33:2019. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato blaine de permeabilidad al aire.

Norma NTC 121:2021. Especificación de desempeño para cemento hidráulico.

Norma NTC 184:2023. Cementos. Métodos de análisis químico de los cementos hidráulicos

Norma NTC 220 – 2022. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50.

Norma NTC 221:2019. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.

Norma NTC 3823:2023. Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso en el concreto.

Norma ASTM D 5865-11a. Standard Test Method For Gross Calorific Value Of Coal And Coke.

Norma ASTM D 3174-00. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.

NTC 118. (2022). Cementos. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de vicat.

NTC 294. (2018). Cementos. Métodos de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico utilizando el tamiz de 45 um (No. 325).

Metodología

Tipo de estudio

Esta investigación se plantea como un estudio descriptivo, este tipo de investigación Niño (2011) indica que tiene como propósito:

Describir la realidad objeto de estudio, un aspecto de ella, sus partes, sus clases, sus categorías o las relaciones que se pueden establecer entre varios objetos, con el fin de esclarecer una verdad, corroborar un enunciado o comprobar una hipótesis. Se entiende como el acto de representar por medio de palabras las características de fenómenos, hechos, situaciones, cosas (p. 34)

Es así como, de acuerdo con Niño, se buscó conocer la influencia de la sustitución parcial de combustible fósil derivado del carbón por las tierras blanqueo y filtrantes. Es un proyecto que permite las descripciones cuantitativas y cualitativas, en donde se analizan las variables que reducen los impactos sobre el medio ambiente ocasionados por la generación de gases en la industria cementera, así como los valores de resistencia encontrados para definir lo óptimo del uso de un material como las tierras de blanqueo.

Método y Recolección de Datos

La estrategia que se adoptó para la realización de esta investigación fue de tipo experimental, donde se revisó el comportamiento de las Tierras Blanqueo y Filtrantes como combustible alternativo para ser usado en el horno en las fabricas de Cemento. Las empresas de la región tales como Planta de Biodiesel y Cemex, trabajaron en conjunto para hacer todas las etapas respectivas del proyecto, desde la toma las muestra, desarrollo de los ensayos respectivos y análisis de los resultados.

Proceso de Toma de Muestras

La Planta de Biodiesel entregó en planta las tierras de blanqueo y filtrantes; este material estuvo libre de humedad.

Calcinación y Poder Calorífico de las Tierras Blanqueo y Filtrantes. Las muestras las tierras blanqueo y filtrantes se calcinan para determinar la cantidad de cenizas en una mufla terrígeno siguiendo la norma NTC 184:2017. Este ensayo se realiza en una mufla Terrígeno Modelo D8 Serie 2554. Además, se determina el poder calorífico a las muestras las tierras blanqueo y filtrantes bajo la ASTM D 5865-11a. Para ello se usa una bomba calorífica Marca Parr 6400 Calorimeter. El objetivo es determinar si el poder calorífico es significativo para usar estas tierras como combustible alternativo al horno en reemplazo de un porcentaje de carbón.

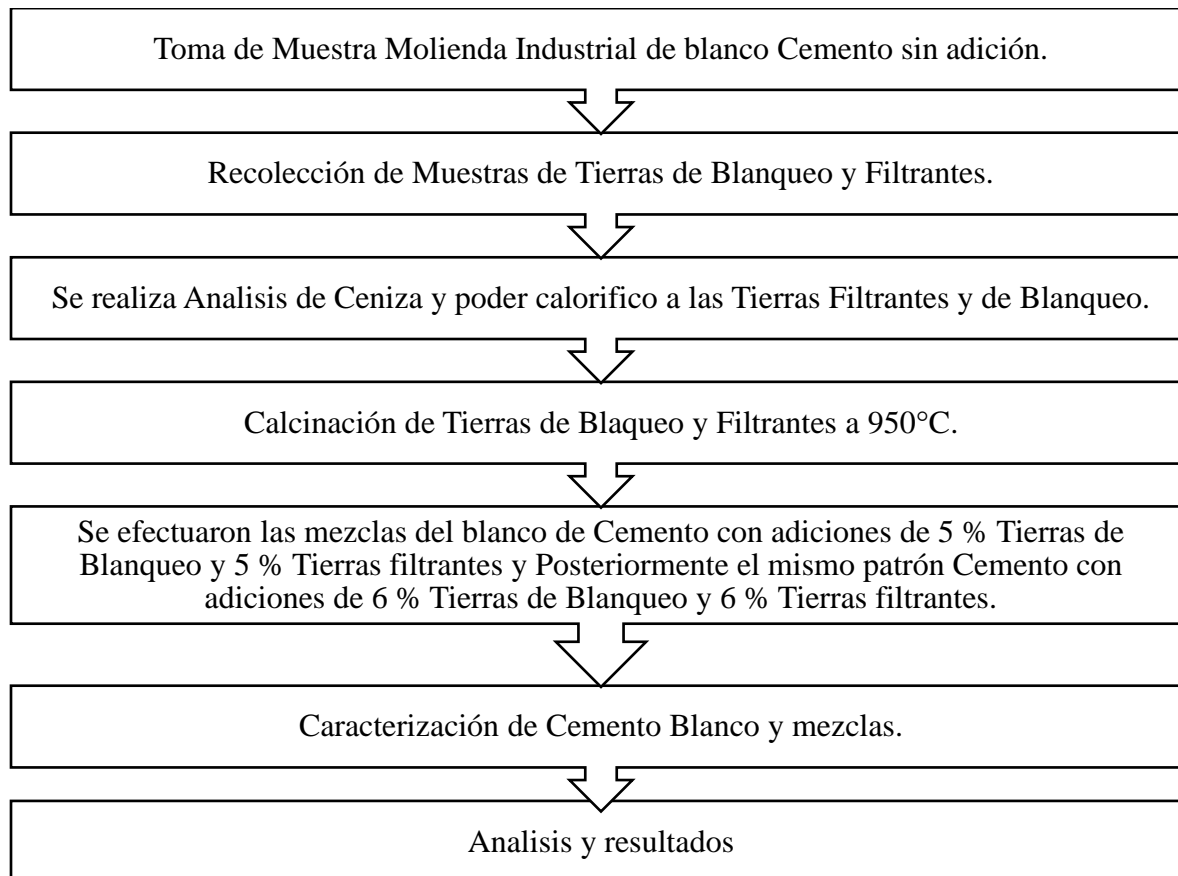
Mezcla de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes con Cemento. En la realización de las mezclas se procede inicialmente con una muestra de Blanco de cemento que sólo contenga Clinker, yeso y adiciones en menor cantidad. Se efectúan las mezclas del blanco de cemento con adiciones de 5 % de tierras de blanqueo y 5 % de tierras filtrantes. Posteriormente el mismo patrón de cemento con adiciones de 6 % de tierras de blanqueo y 6 % de tierras filtrantes. Para la consecución del objetivo propuesto, se siguió el proceso metodológico del esquema que se presenta en la Figura 8.

Fluorescencia de Rayos X. La caracterización química de las tierras filtrantes, de blanqueo y las mezclas se determinaron por medio de la fluorescencia de rayos X a través del siguiente el procedimiento: Primero se preparó una pastilla, pesando 15 gramos de la muestra (ceniza o mezcla), mas 0,6 gramos de un compactante; Segundo, se colocó en un equipo pulverizador de anillos durante un tiempo determinado con antelación por el laboratorio. Como tercer paso, una vez transcurrido el tiempo se extrae la muestra pulverizada y se pesan 6,6 g.

consecutivamente, para preparar la pastilla prensada, la cual por último se examina en el equipo de fluorescencia de rayos X modelo Axios Max de la compañía Panalytical.

Figura 8

Esquema para la Realización de la Mezcla de Cemento Blanco y Tierras.



Nota: Elaboración propia.

Elaboración de las Mezclas Cemento/Tierras de Blanqueo y Filtrantes. Se inició el proceso mezclando el blanco de cemento en un molino Bond, cuya composición es de yeso, caliza y Clinker en cantidades propias para una realizar una mezcla CEMEX de cemento. Seguidamente se prepararon dos mezclas de tierras de blanqueo y tierras filtrantes calcinadas a 950°C en la mufla Terrígeno Modelo D8 Serie 2554. Finalmente, se mezcla homogéneamente y

por separado 5% de tierras filtrantes + 5% de tierras blanqueo con este blanco; con una composición de 5% de tierras filtrantes + 5% de tierras blanqueo y 90% cemento y la otra composición de 6% de tierras filtrantes + 6 % de tierras blanqueo y 88 % de cemento. Estas mezclas realizadas se identificaron como CTO con %5TFB y CTO con 6%TFB.

Caracterización de Blanco y Mezcla de Cementos- Tierras de Blanqueo. Al tener realizada la mezcla de tierras filtrantes y tierras de blanqueo con cemento, se procedió a determinar el análisis químico de cada una de las mezclas mencionadas, empleando para ello la fluorescencia de rayos X previamente mencionada. También, a su vez se realizaron estudios para encontrar la caracterización de las propiedades físicas de estas muestras tales como finura Blaine, densidad, resistencia a la compresión e índice de Puzonalidad.

Una de las características físicas, como lo es el tamaño de partícula de las muestras mezcladas, se determinó por medio del porcentaje de partículas retenidas en un tamiz malla 325 y la finura del cemento hidráulico que se estableció empleando el método Blaine de permeabilidad al aire aplicando lo indicado por la norma NTC 33:2019 mencionada en el marco normativo, se compararon con los valores establecidos por la empresa CEMEX, esto se realizó de esta forma porque no se tiene ninguna norma técnica colombiana que fije unos valores mínimos que se deban cumplirse en estas característica físicas.

La densidad del cemento, se realizó bajo la NTC 221:2019, su uso característicamente está en unión con el diseño y control de mezclas de concreto. La densidad del cemento fue calculada como la masa por unidad de volumen de sólidos, esto permitió calcular la Gravedad específica (Gs) del cemento.

Análisis de resistencias. El análisis de la resistencia y la puzolanidad de las mezclas, se determinaron siguiendo lo normado por la NTC 220:2022, donde se explica que los ensayos se

deben realizar en cuatro períodos de tiempo, a saber: 1 día, 3 días, 7 días, y 28 días, realizando ensayos con tres especímenes para cada edad. El índice de actividad de resistencia (IAR) es la variable más conocida para calcular la puzolanicidad en donde el método de hallarla se encuentra en la norma NTC 3823:2023, con la producción de cubos de cemento con partes de cenizas de tierras de blanqueo y filtrantes adicionadas y cubos sin este aditivo.

Se efectuaron pruebas piloto por triplicado a las muestras de acuerdo a las normas, consiguiéndose el promedio de estos valores y finalmente una vez analizadas las muestras, se procedió a presentar los análisis de resultados.

Resultados

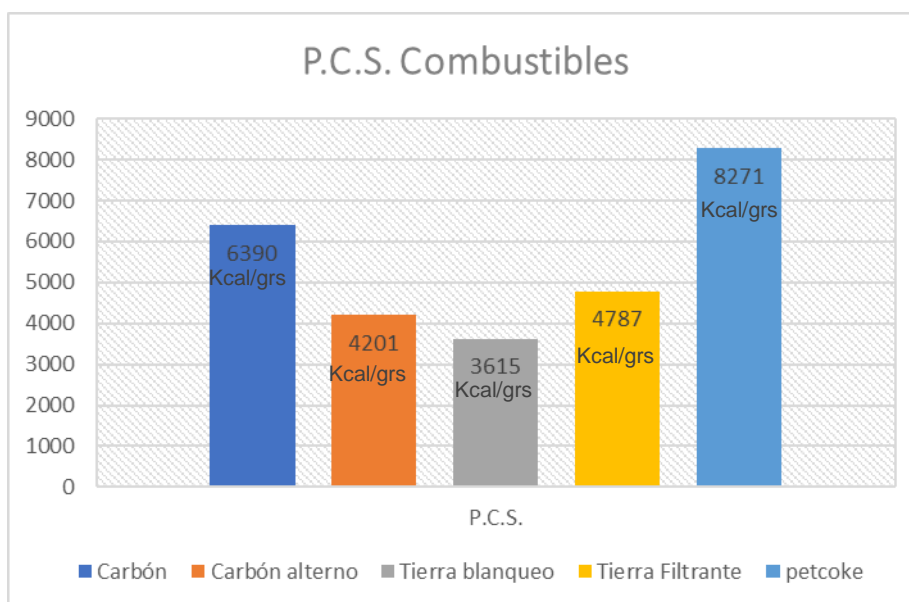
Poder Calorífico de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes con el Carbón y Petcoke

Realizados en Bomba Calorimétrica Bajo la Norma ASTM D5865 – 11^a.

Luego de aplicadas las normas NTC 184:2023 y ASTM D 5865-11^a se obtuvo como resultados lo que se observa en la Figura 9.

Figura 9

Poder Calorífico de Diferentes Muestras de Combustibles en Comparación con las Tierras Filtrantes y de blanqueo.



Nota: Elaboración propia.

Con los resultados mostrados se tiene que las tierras filtrantes y de blanqueo están con poder caloríficos de 3.615 kcal /kg a 4.787kcal/kg, lo que indica que se podrían usar como combustibles alterno porque respecto al poder calorifico de un carbón que utilizan en la caldera con Poder calorifico de 6390 Kcal/kg se podría reemplazar una parte de este combustible fósil con Tierras de Blanqueo y filtrantes. Lo anterior se está implementando como autoconsumo en la caldera de biocombustible, pero en ese proyecto también se busca que éste residuo que sale de

la caldera que está calcinado se pueda usar como adición en la molienda de cemento para reducir el factor de Clinker en la dosificación y que ayude a las resistencias mecánicas en el cemento.

Cenizas de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes con las del Carbón y Petcoke Realizados en Mufla bajo la norma ASTM D 3174 – 00.

En este apartado se presenta el promedio de la estructura química de las mezclas las cuales se realizaron a partir de la técnica de Fluorescencia de Rayos X a las tierras de blanqueo y filtrantes, ensayo realizado por triplicado, expresada en % masa/masa. En la tabla 3, se reflejan los valores de una composición química de ceniza proveniente tierras filtrantes y blanqueo comparadas con cenizas de carbon usado en la Planta, carbón bituminoso y subbituminoso documentado por Ahmaruzzaman, (2010).

Tabla 3

Composición Química de las Muestras de Ceniza de Tierras Filtrantes y Blanqueo Comparadas con Cenizas de Carbon

Componente (%m/m)	T-Blanqueo	T-filtrantes	CZ	Bituminoso (Ahmaruzzaman, 2010)	Subbituminoso
SiO ₂	60,27	80,22	59,0	20–60	40–60
Al ₂ O ₃	8,55	0,0	22,7	5–35	20–30
Fe ₂ O ₃	4,85	1,26	6,50	10–40	4–10
CaO	2,16	0,37	3,70	1–12	5–30
MgO	0,24	0,00	0,58	0–5	1–6
SO ₃	0,18	0,03	3,13	0–4	0–2
Na ₂ O	1,03	2,80	0,26	0–4	0–2
K ₂ O	2,12	1,29	1,39	0–3	0–4

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se observa una comparación química de las tierras filtrantes y una ceniza de una termoeléctrica, para saber si están dentro de los parámetros de dos clases de carbones, no

obstante, los valores registrados se encuentran fuera del rango reportado para las tierras de blanqueo cabe resaltar que no son derivados de las cenizas de un carbón, las cenizas derivadas de un carbón bituminoso y/o sub-bituminoso, como es el caso de las cenizas de Termoeléctrica, si está dentro de los rangos. Por lo tanto, se confirma que las cenizas de los carbones clasificados como bituminoso y sub-bituminoso son las más usadas en la industria cementera de acuerdo con Zapata, Bayer, & Jiménez, (2014); es así como, la ceniza obtenida puede usarse como adicción al cemento, pero en este caso se está evaluando la posibilidad del uso de estas cenizas de las tierras de blanqueo y filtrantes para la misma funcionalidad.

Se estableció en una mezcla de 5% de cenizas de las tierras de blanqueo y 5% de cenizas filtrantes ya que así se logra obtener un alto contenido de óxido de Silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de calcio (CaO) las caracteriza como compuestos aluminosilicatos y calcáreos.

Según $\text{CZ}_{1\text{TB}}$ y $\text{CZ}_{2\text{TF}}$ se pueden catalogar como cenizas clase N, ya que el contenido de $\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3$ de $\text{CZ}_{1\text{TB}}$ (73.67%) y $\text{CZ}_{2\text{TF}}$ (81.48%), comparativamente, de acuerdo con la norma la NTC 3493:2019. Por tanto el $\% \text{CaO}$ están en un rango de $\text{CZ}_{1\text{TB}}$ (2,16%) y $\text{CZ}_{2\text{TF}}$ (0.37%), para esta clase de ceniza no es necesario reportar y tampoco se tiene establecido un valor mínimo o máximo que se deba cumplir.

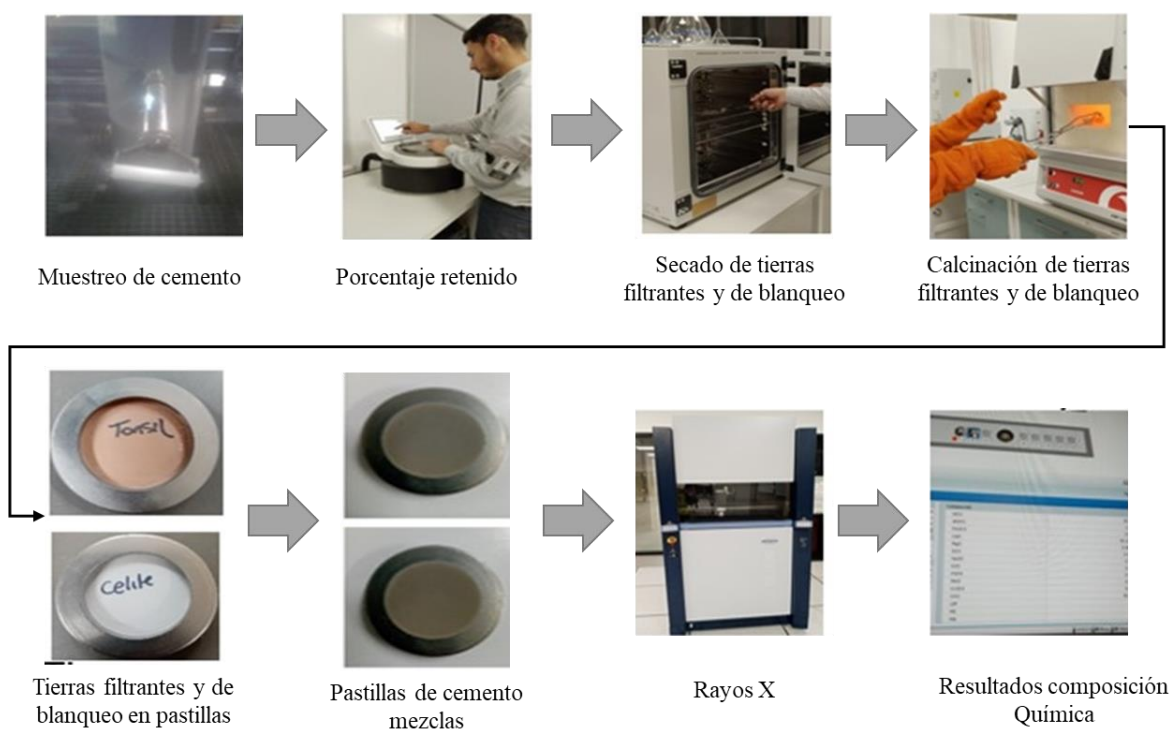
En cuanto al elevado contenido de $\% \text{SO}_3$, $\text{CZ}_{1\text{TB}}$ (0,18%) y $\text{CZ}_{2\text{TF}}$ (0,03%) , son parámetros que cumplen porque están dentro de consigna, en comparación con las demás cenizas vistas en la tabla 3.

Caracterización de la Composición Química de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes y las Mezclas de su Adición en el Cemento Mediante Técnica de Fluorescencia de Rayos X.

Siguiendo la metodología, luego del análisis de composición química de cenizas de las Tierras de Blanqueo y Filtrantes, se realizan mezclas respectivas con diferente dosificación de adición de cenizas de tierras de blanqueo y filtrantes con Cemento y un blanco de cemento sin adición, el proceso de preparación se evidencia en el esquema presentado en la Figura 10.

Figura 10

Preparación de la Mezcla para Usar la Fluorescencia de Rayos X.



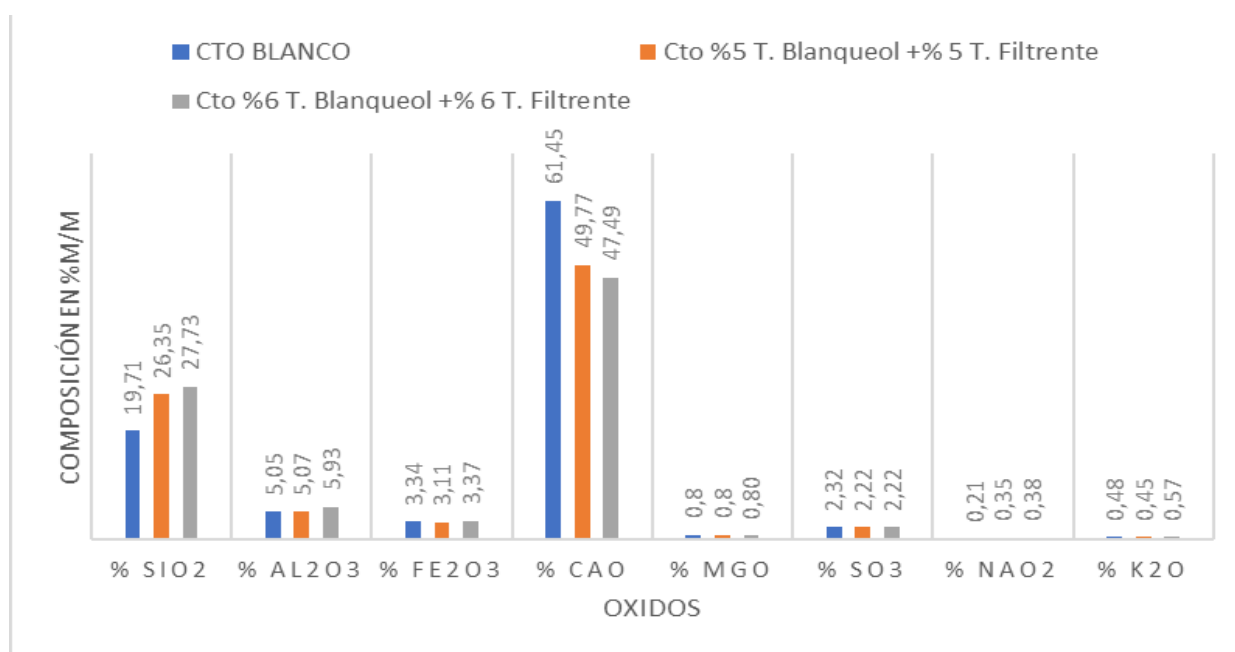
Nota: Elaboración Propia.

Una vez se prepararon las muestras se realizó el estudio tres veces (triplicado) a cada muestra, los resultados obtenidos por cada mezcla por cada cada repetición y su promedio se pueden encontrar en el Apendice A, y se pueden visualizar en la Figura 11

Dentro de los resultados encontrados se tiene que el contenido del óxido de magnesio, de sodio y potasio están dentro de lo establecido por la norma NTC 184:2023, la cual afirma que están en estos límites permitidos $MgO < 1\%$, $Na_2O < 2\%$ y $K_2O < 2\%$, lo cual es muy positivo puesto que su presencia llegase a ser mayor a los valores normados puede llegar a afectar la expansión de cemento una vez este se haya endurecido, lo que puede hacerlo vulnerable a la formación de grietas.

Figura 11

Análisis Químico del Blanco y Cemento – Cenizas Tierras de Blanqueo y Filtrantes.



Nota: Elaboración propia.

Existe una relación con el óxido de magnesio en cuanto a la expansión del cemento, según el Laboratorio de materiales de construcción de Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas (s.f.) la Magnesia (MgO) que se encuentra en pequeñas proporciones dentro de los cementos Pórtland, proviene del carbonato de magnesio ($MgCO_3$), que es un componente de las

piedras calizas. El carbonato se disocia en óxido de magnesio (MgO) y dióxido de carbono (CO₂). La magnesia no se combina con los otros óxidos de cemento y se mantiene en solución sólida en los minerales dentro del clinker. Cuando la magnesia se encuentra en forma cristalizada se llama periclasa, al hidratarse presenta expansión de volumen y puede producir la fractura del concreto. La Norma ASTM C150-07 afirma que lo máximo permitido de %MgO es 6% en el Cemento, mientras que se obtuvo que la cantidad de MgO presente en las mezclas preparadas es de 0,80 % para la CTOTFB1 y 0,80% para la CTOTFB2, por ende se encuentran dentro de los lineamientos anteriormente mencionados y son más que aceptables.

La cantidad de %SO₃, de acuerdo con la Norma ASTM C150-07 no debe sobrepasar el 3,5%. El %SO₃ proviene del adición del yeso en la molienda de Cemento, su adición radica en controlar el tiempo de fraguado en el Cemento, en las mezclas preparadas su análisis dio como resultado un 2.22 % para la CTOTFB1 y 2.22% para la CTOTFB2, indicando que se encuentran dentro de los parámetros aceptados. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi (2004) comentan un poco sobre que el azufre del yeso normalmente se designa como SO₃ (trióxido de azufre), sin embargo el cemento no contiene ningún trióxido de azufre. El sulfato está presente para controlar el tiempo de fraguado, bien como la contracción por secado y el aumento de resistencia.

El óxido de sodio (Na₂O) y el de potasio (K₂O) reciben el nombre de álcalis también llamados óxidos menores, es así como los bicarbonatos de sodio y potasio y los carbonatos “tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato puede tanto acelerar como retardar el fraguado. Estas sales, cuando se encuentran en grandes concentraciones, pueden reducir la resistencia del concreto” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004, p. 97). Con lo citado precedentemente, se aguarda un aumento en la puzolanicidad de CTOTFB1 Y CTOTFB2

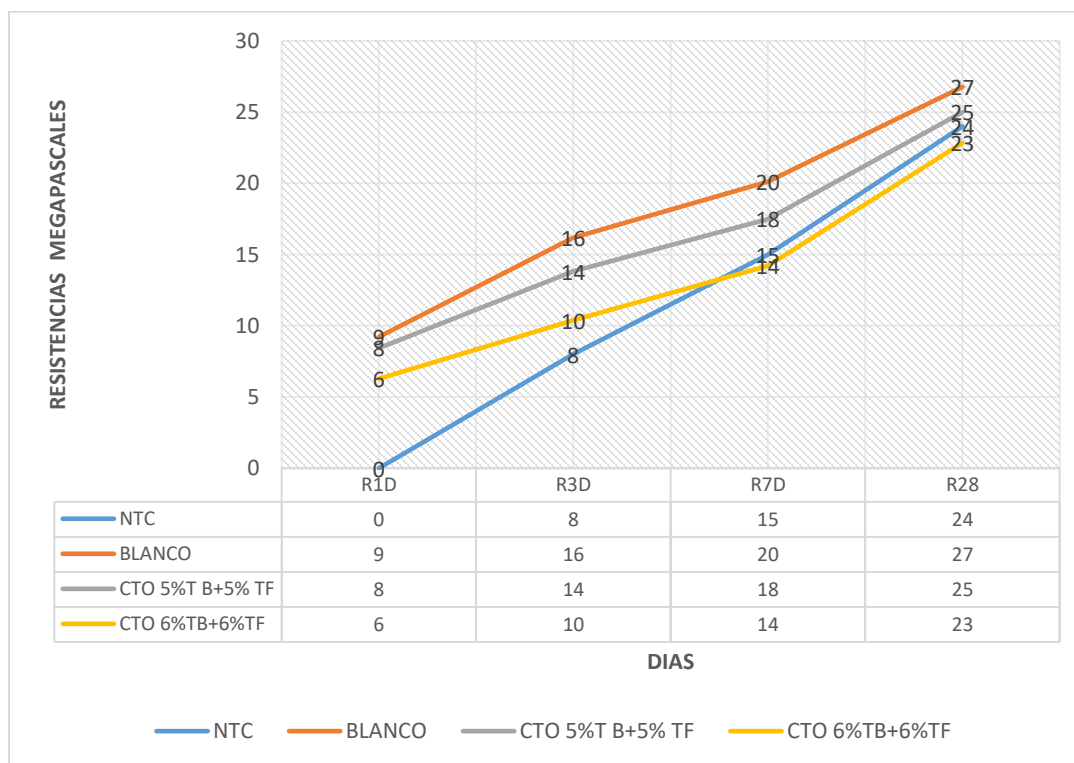
respecto al blanco, ya que al analizar, el porcentaje de óxidos de Silicio y del Aluminio se tiene que es de más proporción que el del blanco, según se plasma en la Figura 11.

Resistencias Mecánicas bajo la Norma NTC 220 a las Mezclas de Cemento con Adición Tierra de Blanqueo y Filtrantes.

En cuanto a la resistencia mecánica a la compresión de las mezclas CTOTFB1 Y CTOTFB2 respecto al blanco, se consiguió que dicha propiedad física disminuye respecto al blanco, los resultados obtenidos se encuentran descritos en el Apéndice B siguiendo el procedimiento descrito en la norma técnica, así como también se visualizan en la Figura 13 donde los valores se comprobaron con el requisito mínimo establecido por la NTC 121 (2014).

Figura 12

Resistencia Mecánica a la Compresión de las Mezclas en contrapartida con NTC 121:2021.



Nota: Elaboración propia.

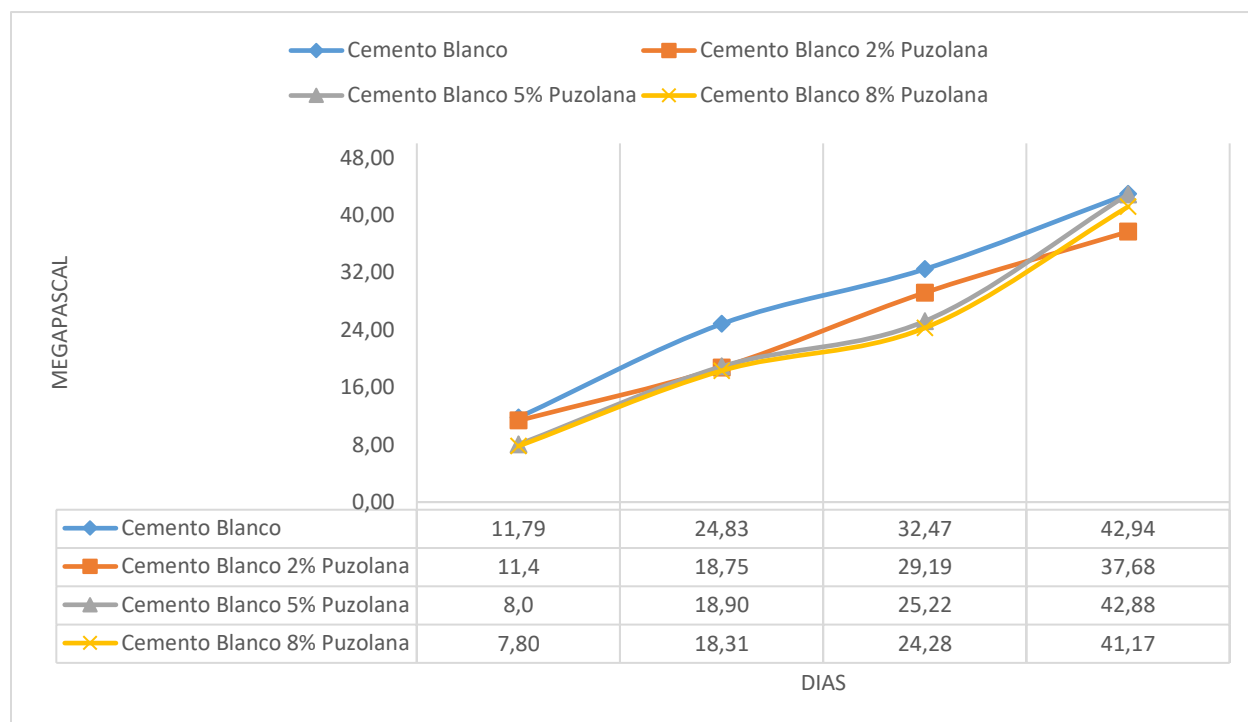
De acuerdo con lo observado, se tiene que a partir del día 7 los valores de resistencia aumentan en todas las muestras de forma lineal pero el CTOTFB2 con 6% de adición respecto al blanco queda por debajo del límite permitido en la NTC 121:2021 mientras que en el día 28 las dos muestras presentan valores similares de resistencia cumpliendo con la NTC 121:2021. En comparación con el blanco los de CTOTFB1 Y CTOTFB2 se obtuvieron valores bajos de resistencia, ya que el principal mecanismo generador de resistencia en la mezcla es el cemento sin adición y por ende, los cementos se encuentran con adición, su resistencia va ser menor.

A continuación se puede observar en la figura 13, los resultados de un cemento con una materia prima puzolana tiene en su desarrollo de resistencia en 1 días, 3 días ,7 días y 28 días que cumplen con la norma NTC 121 (2021), por lo anterior se puede deducir que el material que se hacen pruebas en esta investigación que son las cenizas de las tierras de Blanqueo y filtrantes comparado con este material puzolánico en diferentes adiciones tiene salida para ser usado en la plantas de Cemento ya que no afecta la resistencias Mecánicas, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, (2004) confirman este resultado cuando indican que:

Tradicionalmente, la ceniza volante, escoria, arcilla calcinada, esquistos calcinados y humo de sílice se usaban separadamente en el concreto. Actualmente, debido a la mejoría del acceso a estos materiales, los productores de concreto pueden combinar dos o más de estos materiales, visándose optimizar las propiedades del concreto (p. 78).

Figura 13

Resistencias Cemento Blanco versus Cemento Puzolana.



Nota: Elaboración Propia.

Las cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias granuladas comparadas con el cemento portland presentan un menor calor de hidratación, por ello reduce el calor liberado en las estructuras de concreto (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). Pero estos resultados se encuentra dentro de los límites inferiores permitidos por la NTC 121 (2021); por tanto, las cenizas de Tierras de Filtrantes y de Blanqueo podrían ser utilizadas como aditivos al cemento pero evolucionó más el CTOTFB1 con %5 de adición, teniendo así una resistencia que está acorde con los valores establecidos por la norma.

Caracterización Física del Blanco y de la Mezcla de Cementos y Cenizas de Tierras

Filtrantes y de Blanqueo.

Luego de haber realizado el procedimiento descrito en la metodología se consiguieron los valores promedio de las características físicas tanto para las muestras del blanco como los CTOTFB1 y CTOTFB2. Los promedios mínimos permitidos ya sea por CEMEX o la norma NTC 121:2021; así como los análisis requeridos en la calidad de un Cemento obtenidos por medio del % pérdida por calcinación, resistencias mecánicas, tiempos de fraguado inicial (FI) y final (FF), fBlaine, Peso específico, % cal libre, finura malla 325 micras, tienen su tabla específica en el Apéndice C, mientras que los promedios se resumen en la Tabla 4.

En cuanto a la propiedad física del peso específico, se determinó que la adición de cenizas de tierras de Blanqueo y Filtrantes, si despliega un derivación sobre el peso específico del CTOTFB1 y CTOTFB2 respecto al blanco, resultado que se esperaba porque que estas muestras presentan entre un 10 y 12 % menos de Clinker /yeso que la muestra del blanco.

En cuanto al valor del porcentaje de cal, se tiene que es mayor para la muestra del blanco que en de las mezclas; lo cual era de esperarse porque la cal libre la aporta el Clinker los cementos tienen menos Clinker, ya que en ellas se ha reemplazado el 10% del cemento con cenizas de Tierras de Blanqueo y Filtrantes; así mismo, la diferencia entre los valores de cal libre de las dos mezclas que son 0,65 % y 0,60%, se debe muy probablemente a que la tierras de Blanqueo y filtrantes no aportan % CaO libre, además está por debajo del 2% permitido en la NTC-121: 2021. En caso tal que surgiera una condición mayor a lo permitido el Laboratorio de materiales de construcción de Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas (s.f.) explican que:

Eventualmente puede encontrarse el %CaO como cal liberada, en cuanto el silicato tricálcico (C_3S) es un compuesto meta estable que tiende a convertirse en silicato

bicálcico (C₂S) más CaO. El óxido desprendido del Silicato tricálcico se encuentra en estado amorfo, de fácil reacción con el agua de hidratación y puede ocasionar expansiones que desaparecen en un breve lapso (p. 2).

Tabla 4

Propiedades Físicas Encontradas en las muestras del Blanco y las Cenizas de Mezclas con las tierras Filtrantes y de Blanqueo.

	Blanco	Mezcla N°1	Mezcla N°2	Valor Normado
Peso específico (g/cm ³)	2,96	2,78	2,67	- *
%Cal libre	0,70	0,65	0,60	2% *
Finura tamiz #325				
%Past.	96,33	96,00	95,9	
%Ret.	3,67	4,00	4,1	5% *
Perdida por fuego (%)	10,5	10,9	11,0	- *
Finura Blaine (cm/g)	5146	5180	5232	- *
Fraguado Inicial (min)	120	135	140	45**
Fraguado Final (min)	205	220	230	-

Nota: *CEMEX, ** Inicial no menos de (NTC-121: 2021). Past: pasante de malla 325. Ret: retenido de malla 325.

Los resultados del promedio del porcentaje de muestra retenida en un tamiz #325 de 45 micras se registran en la tabla 4, en ambos casos las cenizas de tierras de blanqueo y filtrantes no realizan variación alguna en la finura del cemento. “La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa de hidratación” (Ulmer, 2018, p. 16), también en las resistencias mecánicas, pero en este caso los valores están dentro de los parámetros estandarizados por la empresa CEMEX.

En cuanto a la pérdida de calcinación, se tiene que la adición de cenizas de tierras de Blanqueo y filtrantes no tiene incidencia significativa en la pérdida por fuego de un cemento ya

que estas se encuentran calcinadas y aunque no hay un valor establecido por normas, el resultado encontrado está dentro de los parámetros estandarizados por la empresa.

Para la finura Blaine se evidencia que las cenizas de Tierras de Blanqueo y filtrantes dan un valor agregado en el cemento sin embargo, están dentro de los límites permisibles por CEMEX.

El fraguado inicial y final de las mezclas CTOTFB1 y CTOTFB2 no se ve afectado en gran proporción por el agregado de cenizas de acuerdo con los resultados obtenidos, pues se observó que los tiempos de fraguado aumentan en ambas mezclas, pero esta característica no tiene establecido por norma un tiempo máximo, por el contrario, sólo se establece que dicho tiempo no sea menor de 45 min y se obtuvo que el tiempo de fraguado de las mezclas fue mayor, cumpliendo así con la normatividad colombiana; entonces se puede deducir que las cenizas de tierras de blanqueo y filtrantes adicionadas afectan de manera positiva al cemento.

En este momento desde el punto de vista químico, los tiempos de fraguado son los que indican si las mezclas tienen sus reacciones de hidratación normal (Laboratorio de Materiales de Construcción, s.f.). El sulfato (del yeso u otras fuentes) en el cemento es el que regula el tiempo del fraguado, que también se afecta por la finura, relación agua-cemento y cualquier aditivo agregado. El retardo del tiempo de fraguado puede ser una ventaja en clima caluroso, permitiendo más tiempo para la colocación y el acabado del concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Finalmente, como se pudo obtener en el estudio, el uso de las tierras de Blanqueo y Filtrantes que para un tipo de industria, en específico la de aceites vegetales, es un desperdicio se convierte para la industria cementera en una materia prima primordial ya que los poderes caloríficos cumplen con los requerimientos para ser empleados como combustible alternativo en la

caldera de biocombustible de la empresa, generando así un gran impacto medioambiental ya que la empresa a buscado a partir del año 2005 generar investigaciones que conlleven a sustituir los combustibles como el diesel por combustibles alternos, así como sustituir materias primas que disminuyan o lleguen a eliminar las emisiones de CO₂ a la atmosfera y que han venido afectando a las comunidades circundantes de la empresa (www.cemexcolombia.com, 2023).

Asímismo, las cenizas obtenidas por estas tierras luego de su calcinación en las calderas pueden ser reutilizadas como materia prima en el proceso principal de esta industria, como lo es la producción de cemento ya que se comprobó que cumple con todos los requerimientos de calidad de producción ya que presentan un mayor resistencias mecánicas, así como la reacción en comparación con cementos que contienen adición puzolánica .

Lo anterior ayuda a Cemex a seguir cumpliendo su objetivo de huella ambiental, donde se ha“evitado la producción de 139.691 toneladas de emisiones de CO₂ a la atmósfera, que equivale a la emisión de aproximadamente 50.000 vehículos al año” (www.cemexcolombia.com, 2023, s/p). Con este proyecto se ayudó a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera con lo que se contribuye en la solución en parte a una problemática global, así como la implementación de la gestión ambiental (emisiones, energía, agua, residuos, etc) y biodiversidad en las operatividad de la empresa. Asimismo, se traen beneficios intrínsecos al eviarse demandas por dichas emisiones de CO₂ hacia las cominades circundantes a las Plantas.

Conclusiones

Las cenizas de Tierras de Blanqueo y Filtrantes de las muestras analizadas presentan un bajo contenido de MgO , SO_3 , Na_2O y K_2O , y baja % CaO Libre siendo un resultado positivo, ya que altas concentraciones de estos elementos favorecen la expansión del cemento, disminuye la hidraulicidad y la resistencia mecánica. Por otra parte, la presencia de álcalis mayor 0.6% producen cementos expansivos, en este caso está en proporciones menores en cada en las muestras, evitan que las reacciones de hidratación se retarden y por tanto el desarrollo de resistencia mecánica no se vea afectado.

También se puede afirmar que las tierras de blanqueo y filtrantes antes de ser calcinadas poseen un poder calorífico de 3.615 kcal /kg a 4.787kcal/kg, por lo tanto se podrían usar como combustibles alternos.

La curva del resistencias mecánicas en cuanto a la edad en días de las mezclas realizadas mostró el efecto de la adición de cenizas de tierras de Blanqueo y filtrantes sobre el blanco, pero se nota que es mejor con la adición al 5%. Las resistencias fueron producto de la reacción puzolánica, lo cual indica que un material de desecho industrial se puede utilizar como materias de adición para la fabricación de materiales cementantes dando resultandos de resistencia a la compresión.

En esta investigación, la afectación de la resistencia mecánica de los especímenes analizados se determinó que está en los límites inferiores permitidos por al NTC 121:2021; lo que indica que las cenizas de Tierras Filtrantes y de Blanqueo al ser utilizadas como aditivos al cemento son una buena alternativa para disminuir el factor Clinker y por ende CO_2 y cumpliendo con resistencia en el cemento y dentro de los valores establecidos por la norma.

Recomendaciones

Según las pruebas de laboratorio se considera emplear el uso de las tierras de Blanqueo y Filtrantes como combustibles alterno en Horno de una planta de Cemento ya que los resultados conseguidos en el desarrollo del Proyecto confirman que lo que se considera desperdicio de la industria de aceites vegetales, se puede convertir en materia prima para la industria cementera.

Asimismo, se recomienda emplear las cenizas obtenidas por las tierras de Blanqueo y Filtrantes luego de su calcinación en las calderas o hornos como materia prima y aditivos en el proceso principal de esta industria cementera.

Cuando hablamos de la viabilidad en este proyecto, nos referimos a qué tan probable es llevar algo a cabo, materializarlo en la realidad, esta viabilidad se enfoca principalmente en calidad de los materiales de las tierras de Blanqueo y Filtrantes y el cumplimiento de los límites permitidos por las normas al uso de estas en la incorporación en la fabricación del Cemento, por eso se realiza prueba a nivel laboratorio y se recomienda realizar a nivel industrial.

Se enfatiza la caracterización química en cada lote de tierras de blanqueo y filtrantes con replicas de las mismas antes de ingresar esta materia prima al proceso para posterior uso y que no afecte en la calidad del producto en caso que se realice a nivel industrial.

Referencias Bibliográficas

- Ahmaruzzaman, M. (2010) A Review on the Utilization of Fly Ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 327-363. Recuperado en Enero de 2023, de <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.003>
- Bancolombia. (2019). Informe Sectorial – Construcción. Informe Mensual. Bogota – Colombia. Recuperado el 12 de Marzo de 2023, de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/sector-cemento/perspectivas-construccion-colombia-2020>
- Barrera, R., Pérez, J., y Salazar, C. (2014). Carbones colombianos: clasificación y caracterización termoquímica para aplicaciones energéticas. *Revista ION*, 27(2), 43-54. Recuperado en Mayo de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000200005&lng=en&tlng=es.
- Cemex. (2023). Gestión Ambiental. Recuperado en Mayo de 2023, de <https://www.cemexcolombia.com/sostenibilidad/gestion-ambiental>
- courseware.url.edu.gt, 2023
- Cortés, L. C., y Torres, S. (2016). Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo de filtración de un aceite comestible. Bogota: Univerdidad de la Salle. Obtenido de UNIVERSIDAD SALLE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE. (2020). Boletín Técnico Estadísticas de Cemento Gris (ECG). Bogota – Colombia. Consultado en septiembre de 2023. Disponible en

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_mar20.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE. (2023). Estadísticas de Cemento Gris (ECG). BOGOTA: Boletín Técnico.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_IEAC_IVtrim22.pdf

Laboratorio de Materiales De Construccion. (s.f). Determinación De La Expansión En Autoclave. Universidad centroamericana José Simeón Cañas. Recuperado de

<https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesConstruccion/guiasLab/ensayoCemento/Determin>

Elmrabet, A., El Harfi, M. y El Youbi, S. (2019). Study of properties of fly ash cements, Materials Today: Proceedings. Revista sciencedirect, Volume 13, Part 3, 850-856,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319306406>

Eliche, D. y Corpas, F., Pérez, L., e Iglesias, F. (2012). Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. Construction and Building Materials, 34, 275-284. Recuperado en Febrero de 2023, de

[https://www.semanticscholar.org/paper/Recycling-of-sawdust%2C-spent-earth-from-oil-compost-Eliche-Quesada-Corpas-](https://www.semanticscholar.org/paper/Recycling-of-sawdust%2C-spent-earth-from-oil-compost-Eliche-Quesada-Corpas-Iglesias/e45d3c6362f210f2e7a9b62903b616af41291312)

[Iglesias/e45d3c6362f210f2e7a9b62903b616af41291312](https://www.semanticscholar.org/paper/Recycling-of-sawdust%2C-spent-earth-from-oil-compost-Eliche-Quesada-Corpas-Iglesias/e45d3c6362f210f2e7a9b62903b616af41291312)

Glosser, D. Prannoy, O. Isgor, B y Weiss, J. (2020). Estimating reaction kinetics of cementitious pastes containing fly ash, Cement and Concrete Composites. Revista sciencedirect Volume 112, 103655,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946520301475>

Goncalves, C. y Margarido, F. (2015). Materials for Construction and Civil Engineering.

Disponible en línea, recuperado, Febrero 2023, de <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=66381>

Hernandez, J. y Isturiz, J. (2022). Alternativas de recuperación, reúso, reciclaje y disposición final de la tierra de blanqueo gastadas en el proceso de refinación del aceite vegetal.

Revista de Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Recuperado el 23 de enero de 2023, de <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/3866>

Haro, C., Aragon, C., de la Torre, E., & Guevara, A. (2014). Regeneración de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles. Revista Politécnica, 34(1), 42. Recuperado a partir de

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/317

inin.gob.mx, 2023. ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. Recuperado en Mayo de 2023, de

https://www.inin.gob.mx/sitios/views/detalleopcion.cfm?cve_area=LABFON&codigo_opc=180005006.

Kaewmanee, K., Krammart, P., Sumranwanich, T., Choktaweeekarn, P. y Tangtermsirikul, Somnuk. (2013). Effect of free lime content on properties of cement–fly ash mixtures.

Revista Construction and Building Materials. 38. 829–836. Recuperado en Marzo de 2023, de

https://www.researchgate.net/publication/257389720_Effect_of_free_lime_content_on_properties_of_cement-fly_ash_mixtures

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Obtenido de Portland Cement Association:
<http://estudiantesingcivil.blogspot.com/>
- Mamlouk, M y Zaniewski, J. (2018). *Materiales para la construcción*. Material en línea, recuperado en enero de 2023, de <https://www.udocz.com/apuntes/43226/materiales-para-ingenieria-civil-michael-s-mamlouk-john-p-zaniewski-2da-edicion>.
- Minambiente. (2023). La contaminación atmosférica en Colombia. Recuperado en Enero de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>
- Montes, C. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. Universidad Externado de Colombia. Recuperado el 06 de Diciembre de 2022, de https://publicaciones.uexternado.edu.co/catalogsearch/advanced/result/?products_author=Carolina+Montes+Cort%C3%A9s
- Niño, V. (2011). **Metodología de la Investigación. Diseño y ejecución**. Bogotá – Colombia. Ediciones de la U, 2011.
- Norma NTC 121. (2021). *Especificación de Desempeño para Cemento Hidráulico*. Recuperado en febrero de 2023, de <https://pt.scribd.com/document/479227918/NTC-121-2014-Especificacion-de-desempeno-para-cemento-hidraulico-lectura-pdf>
- Norma NTC 184. (2023). *Cementos. Métodos de análisis químico de los cementos hidráulicos*. Recuperado en febrero de 2023, de <https://docplayer.es/21948843-Norma-tecnica-colombiana-184.html>

- Norma NTC 221. (2019). Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Recuperado en febrero de 2023, de <https://docplayer.es/69849509-Norma-tecnica-colombiana-221.html>
- NTC 118. (2022). Cementos. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de vicat. Recuperado en febrero de 2023, de <https://www.studocu.com/es/document/universidad-antonio-narino/materiales-de-construccion-y-laboratorio/ntc-118-tiempo-de-fraguado-del-cemento/47776567>
- NTC 220. (2022). Cementos. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm O 2 pulgadas de lado. ICONTEC, (Sexta actualización). Recuperado en febrero de 2023, de <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:3353/pdfview/viewer.aspx?locale=fr-FR&Q=9DA69D00EF466C2D33F8B077131EF7C396DF3D9C2A164539&Req=>
- NTC 294. (2018). Cementos. Métodos de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico utilizando el tamiz de 45 um (No. 325). ICONTEC, (Quinta actualización). Recuperado en febrero de 2023, de <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:3353/pdfview/viewer.aspx?locale=fr-FR&Q=C79ADEF30CE8CF24020601A4D6D0A1185C85277F8E18F642&Req=>
- NTC 33. (2019). Cementos. Métodos de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire. Recuperado en febrero de 2023, de <https://www.studocu.com/co/document/universidad-nacional-de-colombia/introduccion-a-la-ciencia-de-materiales/ntc-33-se-explican-ensayos-de-laboratorio/9417108>

Norma NTC 3823:2020. Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso en el concreto. Recuperado en febrero de 2023, de

<https://pt.scribd.com/document/341784720/NTC-3823-Muestreo-y-Ensayo-de-Cenizas-Volantes-o-Puzolanas-Naturales-para-Uso-como-Aditivo-Mineral-en-el-Concreto-de-Cemento-Portland-pdf>

Norma ASTM D 5865-11a. Standard Test Method For Gross Calorific Value Of Coal And Coke. Recuperado en febrero de 2023, de [https://kupdf.net/download/astm-](https://kupdf.net/download/astm-d5865_598ac504dc0d60c675300d1b_pdf)

[d5865_598ac504dc0d60c675300d1b_pdf](https://kupdf.net/download/astm-d5865_598ac504dc0d60c675300d1b_pdf)

Norma ASTM D 3174-00. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. Recuperado en febrero de 2023, de [Norma Cenizas D-3174 | PDF |](#)

[Incineración | Temperatura \(scribd.com\)](#)

Norma ASTM C 150-07 Standard Specification for Portland Cement1. Recuperado en febrero de 2023, de [C150/C150M Standard Specification for Portland Cement \(astm.org\)](#)

Portafolio. (2022). Cemex y Cementos Diamante, condenados por contaminar cultivos de arroz.

Recuperado Diciembre de 2022, de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/cemex-y-cementos-diamante-condenados-por-contaminar-cultivos-de-arroz-566498>

Rodríguez, J. (2018). Extracción de aceite contenido en el salvado de arroz mediante el proceso de extrusión, y cuantificación del consumo energético que desempeña al regular variables como temperatura, humedad del Salvado y presión en la planta piloto de la Universidad de Ibagué. Tesis de pregrado. Recuperado en Marzo de 2023, de

<https://repositorio.unibague.edu.co/entities/publication/2d0e1b7d-0704-40d6-9d60-af2d5fba8e11>

- Sanjuán, M y Chinchón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2014. ISBN 978-84-9717-305-6, 181 p. Recuperado en Mayo de 2023, de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Tobón, J y López, J. (2007). Replanteamiento De Las Ecuaciones De Bogue En El Cálculo Mineralógico Del Clinker Para Una Cementera Colombiana. DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, ISSN 0012-7353, Vol. 74, N°. 153, 2007, págs. 53-60.
- Ulmer, A. (2018). Resistencia del concreto $f'c=210$ kg/cm² con sustitución de 15% por cemento por ceniza de hoja de espino. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Peru. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/231107394.pdf>
- Valdivia, E. y Valdivia, M. (2014). Investigación del efecto del óxido de silicio en la determinación del porcentaje de agregado en los cementos puzolanicos utilizando el método de difracción de rayos x . Arequipa – Perú. . Recuperado en Febrero de 2023, de <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/13fe3450-11de-47e9-ae0b-624818ed3789/download>
- Volcan, T. (2018). Estado del arte sobre la producción de tierras de blanqueo: inteligencia tecnológica aplicada. Catedea, vol 2, 63 – 76. Recuperado en marzo 2023, de [https://revistas.uclave.org/index.php/catedea/article/download/2001/1087/1974#:~:text=P ara%20la%20purificaci%C3%B3n%20de%20aceites,de%20las%20palygorskitas%20\(ata pulgita%2C%20y](https://revistas.uclave.org/index.php/catedea/article/download/2001/1087/1974#:~:text=P ara%20la%20purificaci%C3%B3n%20de%20aceites,de%20las%20palygorskitas%20(ata pulgita%2C%20y)
- Zeggar, M., Nasir, M, Noor y Safiee, N. (2019). Fly ash as supplementary material in concrete : A review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 357. 012025. Recuperado en febrero de 2023, de

https://www.researchgate.net/publication/337511812_Fly_ash_as_supplementary_material_in_concrete_A_review/citation/download

Apéndices

Apéndice A

Analisis Químico del Blanco y Cemento – Cenizas Tierras de Blanqueo y Filtrantes.

Apéndice A.1

Analisis Químico del FRX del Blanco,.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Blanco promedio	19,71	5,05	3,34	61,45	0,80	2,32	0,21	0,48
Blanco*	19,72	5,05	3,34	61,46	0,8	2,32	0,21	0,48
Blanco*	19,69	5,04	3,33	61,45	0,8	2,31	0,21	0,47
Blanco*	19,71	5,06	3,36	61,44	0,8	2,32	0,21	0,48

Nota: Elaboración propia; Valores en %m/m.

Apéndice A.2

Analisis Químico FRX de la Mezcla N°1..

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Mezcla N° 1 promedio	26,35	5,07	3,11	49,77	0,8	2,22	0,35	0,45

Mezcla N° 1*	26,35	5,06	3,11	49,77	0,8	2,22	0,35	0,45
Mezcla N° 1*	26,31	5,05	3,1	49,75	0,8	2,23	0,34	0,46
Mezcla N° 1*	26,38	5,09	3,13	49,78	0,8	2,21	0,36	0,44

Nota: Elaboración propia; Valores en %m/m.

Apendice A.3

Analisis Químico FRX de la Mezcla N°2.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Mezcla N° 2 promedio	27,73	5,93	3,37	47,49	0,80	2,22	0,38	0,57
Mezcla N° 2*	27,75	5,96	3,41	47,5	0,8	2,23	0,40	0,57
Mezcla N° 2*	27,72	5,93	3,37	47,49	0,8	2,22	0,38	0,57
Mezcla N° 2*	27,71	5,9	3,32	47,48	0,8	2,2	0,37	0,56

Nota: Elaboración propia; Valores en %m/m.

Apendice A.4

Análisis de Densidad de las Muestras.

	Blanco %	Mezcla#1 %	Mezcla #2 %
1	2,96	2,77	2,69
2	2,98	2,76	2,66
3	2,94	2,8	2,67
Promedio	2,96	2,78	2,67

Nota: Elaboración propia.

Apéndice B

Resultados encontrados de la Resistencia Mínima a la Compresión.

Días de estudio	Blanco	Mezcla N° 1	Mezcla N°2	NTC 121:2014*
1	9,0	6,0	5,0	N.A
3	16,0	14,0	10,0	8,0
7	20,0	18,0	14,0	15,0
28	27,0	25,0	23,0	24,0

Nota: Elaboración propia. Resultados en MPa. *Valores de resistencia mínimos de acuerdo a la

Norma

Apéndice C

Propiedades Físicas Encontradas en las muestras del Blanco y las Cenizas de Mezclas con las tierras Filtrantes y de Blanqueo.

Apéndice C.1

Propiedad: Finura – Retención en Tamiz #325.

	Blanco	Mezcla N°1	Mezcla N° 2
1	3,67	3,98	4,02
2	3,65	3,97	4,1
3	3,68	4,05	4,19
Promedio	3,67	4,00	4,10

Nota: Elaboración propia. Resultados en porcentaje.

Apéndice C.2

Propiedad: Finura – Pasa a través del Tamiz #325.

	Blanco	Mezcla N°1	Mezcla N° 2
1	96,33	96,02	95,98
2	96,35	96,03	95,90
3	96,32	95,95	95,81
Promedio	96,33	96,00	95,90

Nota: Elaboración propia. Resultados en porcentaje,

Apendice C.3

Propiedad: Pérdida por Fuego.

	Blanco %	Mezcla N°1 %	Mezcla N° 2 %
1	10,5	10,9	11,1
2	10,4	10,91	11
3	10,5	10,9	11,1
Promedio	10,5	10,9	11,1

Nota: Elaboración propia. Resultados en porcentaje.

Apendice C.4

Propiedad: Finura Blaine.

	Blanco	Mezcla N°1	Mezcla N° 2
1	5146	5180	5232
2	5148	5179	5234
3	5145	5180	5229
Promedio	5146	5180	5232

Nota: Elaboración propia. Resultados en (cm/g).

Apendice C.5

Propiedad: Fraguado Inicia.

	Blanco	Mezcla N°1	Mezcla N° 2
1	120	132	142
2	117	137	140
3	123	136	138
Promedio	120	135	140

Nota: Elaboración propia. Resultados en minutos.

Apendice C.6

Propiedad: Fraguado Final.

	Blanco	Mezcla N°1 %	Mezcla N° 2 %
1	205	219	229
2	203	220	232
3	208	222	230
Promedio	205	220	230

Nota: Elaboración propia. Resultados en minutos.