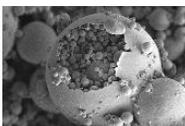


Influencia en el uso de las cenizas volantes de carbón como sustituto parcial del cemento Portland o como MCS en el mejoramiento del concreto

Monografía como trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil



DICIEMBRE DE 2021
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
INGENIERIA CIVIL



Influencia en el uso de las cenizas volantes de carbón como sustituto parcial del cemento Portland (MCS) en el mejoramiento de las propiedades del concreto

Autores

Angie Julieth Losada Cañaveral

Luz Esther Pulido Herrera

Director

Msc. Jacipt Alexander Ramón Valencia

Ingeniero químico

Programa de ingeniería civil

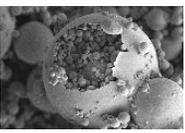
Departamento de ingenierías civil, ambiental y química

Facultad de ingenierías y arquitectura



Universidad de pamplona

Pamplona, diciembre de 2021



Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios por permitirnos llegar a cumplir una meta más en nuestra vida, la cual no ha sido fácil, ya que nuestro proceso de formación ha estado lleno de dificultades. Sin embargo, cumplir el sueño de ser profesionales de ingeniería civil, ha requerido de virtudes, destrezas, esfuerzo y perseverancia. Así mismo, agradecer a nuestros padres y demás familiares, por su trabajo, dedicación, y apoyo emocional, fueron ese motor que nos impulsaron a la culminación de todo este trabajo, a cada uno de nuestros amigos y compañeros de la universidad que siempre tienen una palabra alentadora para no desfallecer. Finalmente, resaltar el gran trabajo que realiza la Universidad de Pamplona, por brindar la oportunidad a que jóvenes como nosotros ingresemos a esta prestigiosa institución y formar parte de este grandioso claustro. Resaltando siempre su equipo de trabajo docentes, y asesores del trabajo de grado, que se esmeran por brindar acompañamiento y asesorías, impartiendo conocimientos, y paciencia para poder formar líderes comprometidos con el desarrollo personal y profesional.

Angie Julieth Losada Cañaveral

Luz Esther Pulido Herrera

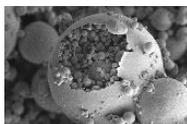
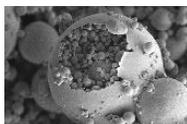


Tabla de contenido

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. CENIZAS VOLANTES	10
1.1. IMPORTANCIA Y COMPOSICIÓN	10
1.2. ORIGEN	11
1.3. COMPONENTES A MANERA DE MINERALOGÍA	12
1.4. TIPOS DE EMPRESAS QUE PRODUCEN CENIZAS VOLANTES.	13
1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LAS INDUSTRIAS QUE GENERAN CONTAMINANTE.	13
1.6. FUENTE DE CONTAMINACIÓN	14
2. CEMENTO PORTLAND	16
2.1. GENERALIDADES	16
2.2. MATERIAS PRIMAS	17
2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO	18
2.4. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LAS CALIZAS	19
2.5. FABRICACIÓN DE CEMENTO	23
2.5.1. <i>PRODUCCIÓN Y PREPARATIVO DE COMPONENTES NO REFINADOS</i>	23
2.5.2. <i>PULVERIZACIÓN</i>	24
2.5.3. <i>PRE-HOMOGENEIZACIÓN</i>	25
2.5.4. <i>TRITURACIÓN DE LOS COMPONENTES NO REFINADOS</i>	25
2.5.5. <i>PRECALENTADOR DE CICLÓN</i>	26
2.5.6. <i>FABRICACIÓN DE CLINKER - HORNO</i>	27
2.5.7. <i>TRITURACIÓN DEL CLINKER Y CREACIÓN DEL HORMIGÓN</i>	28
2.5.8. <i>ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO</i>	29
2.5.9. <i>DISTRIBUCIÓN O TRANSPORTE MASIVO DEL CEMENTO</i>	32



3. IMPACTO EN LA UTILIZACIÓN DE LAS CV DE CARBÓN COMO SUSTITUTO NO COMPLETO DEL CEMENTO PORTLAND (MCS) EN LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO **33**

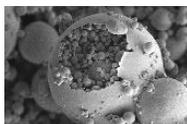
3.1. PAPEL DEL CARBÓN Y LA GENERACIÓN DE CENIZAS POR PARTE DE LAS TERMOELÉCTRICAS COLOMBIANAS	33
3.2. COMO ES SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA SEGÚN EL TIPO DE CENIZA	34
3.3. PUZOLANAS NATURALES Y ARTIFICIALES COMO ADITIVOS MINERALES	38
3.4. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND Y COMPARACIÓN CUANDO LAS CENIZAS VOLANTES REACCIONAN A LA MISMA	39
3.5. COMO SE HIDRATAN DE MANERA ADECUADA LAS CENIZAS	40
3.6. ACTIVIDAD QUÍMICA DE LA CENIZA	41
3.7. PROPIEDADES ÓPTIMAS PARA PODER CUMPLIR COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO	43
3.7.1. PROPIEDADES FÍSICAS	43
3.7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS	45
3.8. COMPONENTES QUÍMICOS ÓPTIMOS PARA QUE SE PUEDA USAR LA CENIZA COMO MCS O SUSTITUTO	47

4. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS POR MEDIO DE LOS ARTÍCULOS ESTUDIADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN **49**

I. EL TRABAJO DE MOLINA, (2008)	50
II. EL TRABAJO DE CHÁVEZ & GUERRA, (2015)	51
III. EL TRABAJO DE (BAUTISTA ET AL., 2017)	52
IV. EL TRABAJO DE (HUAQUISTO & BELIZARIO, 2018)	53
V. EN EL TRABAJO REALIZADO POR (GÓMEZ, 2012)	54
VI. EL TRABAJO DE (VALDERRAMA ET AL., 2011)	55
VII. SEGÚN LA TESIS, (GÓMEZ PEREZ, 2011)	56

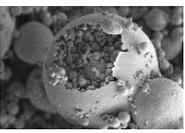
CONCLUSIONES **57**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **60**



Lista de Tablas y figuras

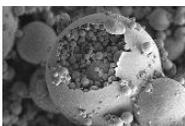
ILUSTRACIÓN 1. COMPOSICIONES QUÍMICAS DE CV.....	12
ILUSTRACIÓN 2. MATERIALES CALIZOS (CALIZA).....	17
ILUSTRACIÓN 3. MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO	18
ILUSTRACIÓN 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO.	19
ILUSTRACIÓN 5. PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE LA CALIZA	22
ILUSTRACIÓN 6. PRODUCCIÓN Y PREPARATIVO DE MATERIAS PRIMAS	23
ILUSTRACIÓN 7. TRITURACIÓN.....	24
ILUSTRACIÓN 8. PREHOMOGENEIZACIÓN	25
ILUSTRACIÓN 9. MOLIENDA DE CRUDO	26
ILUSTRACIÓN 10. PRECALENTADOR DE CICLONES	26
ILUSTRACIÓN 11. FABRICACIÓN DEL CLINKER – HORNO	27
ILUSTRACIÓN 12. CLINKER INTRODUCIÉNDOSE EN EL ENFRIADOR	28
ILUSTRACIÓN 13. MOLIENDA DEL CLINKER.....	28
ILUSTRACIÓN 14. COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL CEMENTO SEGÚN SU TIPO DE USO.....	31
ILUSTRACIÓN 15. ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO	32
ILUSTRACIÓN 16. ENVASADO.....	32
ILUSTRACIÓN 19. REQUERIMIENTOS QUÍMICOS.....	35
ILUSTRACIÓN 20. CENIZA TIPO FERROSFERA	36
ILUSTRACIÓN 21. CENIZA TIPO CENOSFERA.....	37
ILUSTRACIÓN 23. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO	39
ILUSTRACIÓN 24. HIDRATACIÓN DE LAS CENIZAS VOLANTES.....	39
ILUSTRACIÓN 25. HIDRATACIÓN DE LA CENIZA.....	40



Resumen

En la presente monografía nos proponemos presentar un estudio el cual tiene como finalidad realizar una observación y punto de vista acerca de varias investigaciones en las cuales se evalúa la influencia de la implementación de las cenizas volantes de carbón como reemplazo parcial del cemento y material cementante suplementario (MCS), por medio de información (investigaciones, experimentos, laboratorios, ensayos, etc.) relevante del estado del arte como lo son libros, artículos, tesis y textos de carácter científico a nivel local, regional, nacional e internacional. Se va a tomar dicha información para analizarlos compararlos y comprobar si evidentemente es positiva y de gran influencia en cuanto a la durabilidad de concreto al momento de usar la ceniza volante de carbón en su estructura tanto física, como química y mineralógica para que su utilización sea de beneficio..

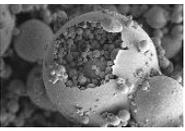
Palabras clave: Ceniza volante, Cemento Portland, sustituto parcial, MCS.



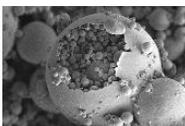
Introducción

En esta investigación pretendemos realizar un estudio sobre la influencia que tiene el empleo de las C.V de carbón al sustituirlo parcialmente por el cemento portland. Como ya todos sabemos, el concreto se caracteriza por ser uno de los componentes más usados en Colombia en todo lo que tiene que ver con la construcción, en la fabricación de obras civiles, es por ello que día a día se tiene la necesidad de producir un cemento con mejores propiedades tanto físicas como químicas y en este caso se va hacer uso de la ceniza volante de carbón la cual según estudios cumple con los criterios fisicoquímicos que las hacen con la capacidad de desarrollar propiedades aglomerantes cuando entran en contacto con el agua, así mismo como el proceso que lleva a cabo el cemento Portland, el cual favorece el rendimiento del concreto en cuanto a la trabajabilidad, a el aumento de resistencia y a la durabilidad, entre otras, y adicional a eso es favorable en cuanto a los beneficios que genera tanto económicos, y ambientales, porque se realiza un reaprovechamiento del residuo más importante que producen las termoeléctricas ya que las CV de carbón son consideradas un desecho ecológico muy problemático el cual deben combatir y tratar de erradicar todas las industrias de energía que trabajan con centrales termoeléctricas evitando que sean depositados durante mucho tiempo en silos donde son acumulados y expuestos a la intemperie. Con esta actividad se está poniendo en peligro el medio ambiente, porque al entrar en contacto con el suelo, el agua y el aire, repercute graves contratiempos de contaminación, que a corto tiempo afecta en la salud de las personas y seres vivos en general.

En este artículo monográfico se mostrarán los estudios que han sido desarrollados por varios investigadores para saber cuál es la influencia de la utilización de la C.V con propiedades puzolánicas en la trabajabilidad y calidad del concreto, así como la resistencia a la compresión. De igual manera se dará a conocer todo en cuanto a la ceniza volante, sus propiedades tanto físicas como químicas, las principales características que poseen en comparación al cemento portland del



cual también hablaremos en el segundo capítulo. Finalmente realizaremos una comparación para poder deducir que tan beneficioso es la sustitución del cemento por la C.V de carbón.



1. Cenizas Volantes

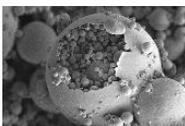
1.1. Importancia y Composición

Es importante tener claro que las cenizas volantes de carbón son un polvo extremadamente fino con partículas vitrificadas, redondas y parecidas al vidrio, de color aparentemente grisáceo, que es una acumulación que proviene de la ignición del carbón que se emplea en las termoeléctricas. Este material comúnmente está formado en su mayor parte por tres componentes trascendentes: alúmina, sílice, óxidos de hierro, y de forma menos significativa está presente el óxido de calcio, óxido de magnesio, sulfatos y sales

Estos últimos son como óxidos que abordan del 75% al 95% de todo el material. Las investigaciones mineralógicas muestran que entre el 65% y el 90% de los restos se encuentran en estado vítreo.

Además, cabe destacar que los residuos de carbón se conocen como un elemento algo heterogéneo, ya que la disposición de las partículas que lo establecen es totalmente diferente en las perspectivas que se acompañan: en su estructura de sustancias, en su tamaño, en su granulometría, y en su superficie, etc. También, que, por regla general, los restos utilizados para la expansión a hormigones y cementos, procede de centrales nucleares de temperaturas muy altas y de centrales nucleares de ignición seca. (Chavez & Guerra, 2015)

Por último, en cuanto a los atributos de las cenizas volantes podemos decir que varían dependiendo de la clase de carbón que las produzca y de los factores del sistema de combustión que se emplea donde se crean, como la temperatura, el tiempo de permanencia del material, por lo que,

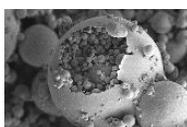


a la hora de ser utilizadas como elemento para el hormigón, se debe elegir que sean las cenizas con mejores propiedades y cualidades posibles.

1.2. Origen

Antes de la combustión, el carbón es bombeado por las plantas. En este sentido, con o sin rellenos auxiliares, se introduce en el calentador por medio de una oleada de aire muy caliente a grandes velocidades y, al estar en suspensión, se quema a temperatura entre 1.500 a 2000 °C, la cual se considera que está muy por encima del punto de disolución de la mayor parte de los minerales existentes. Mediante este ciclo, los fragmentos inorgánicos no pasan por una quema totalmente entera, y se entregan partículas de desechos. Los residuos que se generan varían dependiendo de la temperatura en la caldera, pero también de la clase de carbón que se utilice, de la finura, de la trituración y del tiempo en que permanezca en la zona caliente en el hogar.

El desarrollo de la energía en este caso eléctrica, proveniente de centrales nucleares que utilizan carbón (antracita bombeada u otros carbones bituminosos), como combustible conlleva dos tipos principales de residuos: “los residuos volantes y los desechos volantes, también, escombros de base o escorias”, siendo el contraste fundamental la magnitud de las partículas. Los mejores elementos (escombros volantes), se adquieren “por precipitación mecánica o electrostática del residuo en suspensión”, en los gases de combustión, mientras que las más gruesas, los escombros volantes o escorias, caen a la superficie por gravedad y generalmente se extraen transportándolas con agua a los almacenes de acopio. El nivel de ambos depósitos depende del diseño de la central nuclear, del tipo de evaporador utilizado y de los estados del sistema de combustión. Los desechos volantes suelen constituir el 80% de los desechos completos, y el 20% restante se compara con los desechos básicos o de base. El peso total de los residuos volantes creados en las centrales nucleares es aproximadamente el 30% de la masa de carbón devorada. (Cedex, 2011).



Esta tabla nos indica las composiciones químicas de las C.V

Composición	P.F.A.	C.F.A.	F.F.A.	Italia	Brasil	U.S.A.	Termozipa	Termopaipa	Termotasajero
	(Ingl.)	(Canadá)	(Franc.)				(Col.)	(Col.)	(Col.)
SiO ₂	45-51	40-50	42-50	43-53	63-64	20-60	60-65	64-29	53.21
Al ₂ O ₃	24-32	15-24	16-30	17-20	25-26	10-35	24-30	23	26.74
FeO ₃	7-11	12-19	5-10	5-10	3-5	5-35	5-9	5.74	9.15
CaO	1.1-5.4	4-8	2-4	4-11	1-2	1-2	0.05-0.50	0.81	0.59
MgO	1.5-4.4	0.5-2	0.5-4	1-3	1-2	0.3-4	0.1-0.7	0.53	0.45
Alcalis	3.7-6.2	3-6	4-7	5-8	1-2	1-4	0.1-2	2.03	0.80
SO ₃	0.3-1.3	1-5	0-2	--	--	1-1.2	0-0.5	0.1	0.01
Pérdidas por ignición	1.3-24	--	Incombustible	7-9	1-5	1.5-20	5-30	10-15	7.96

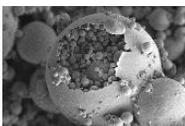
Ilustración 1. Composiciones químicas de CV.

Fuente: (VALBUENA, 2006)

1.3. Componentes a manera de mineralogía

Los componentes mineralógicos y las propiedades de los residuos varían dependiendo en igual medida del diseño y la síntesis del carbón y del proceso de quema. Los residuos de CV para el estudio y empleo se obtienen de varios tipos de carbón.

El material conocido como carbón se forma por la desintegración de las plantas que no tienen acceso a la circulación del aire, afectado por la humedad, la tensión y la temperatura. La recolección de plantas en baja estructura la turba en el paso inicial de la interacción de la calcificación. Mediante el proceso de la etapa bioquímica algunos elementos de diversas plantas son procesadas por organismos y microorganismos. Las variaciones o cambios tanto geológicos como químicos se producen a partir de la transformación de la turba en carbón bituminoso. La mayor parte de los yacimientos de carbón bituminoso se almacenaron durante el Cretácico-Carbonífero y el Cretácico superior, entre 300 y 100 millones de años antes.



El carbón subbituminoso, de color terroso, y el lignito se formaron más tarde. Los depósitos de turba son dos o tres millones de años anteriores (Chávez & Guerra, 2015)

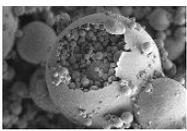
1.4. Tipos de empresas que producen cenizas volantes.

Las cenizas en Colombia provienen de las centrales termoeléctricas, que son oficinas que cambian la posible energía del desecho en energía activa que mueve un generador para eventualmente crear energía, y además provienen de calderas modernas. Algunas fuentes producen gran cantidad de escombros, sin embargo no ha sido imaginable su reutilización por la gran sustancia de carbón que queda sin quemar o hasta cierto punto sin quemar; sin embargo esto ha funcionado por el mejoramiento de los procesos de encendido con la inspiración de detener la descarga de escombros en patios o potencialmente rellenos sanitarios planeados para ello, los cuales establecen una responsabilidad ecológica con altos costos de mantenimiento y peligro inerte de derrames o problemas con las redes colindantes.

1.5. Descripción del proceso en las industrias que generan contaminante.

Este ciclo utiliza fuentes de energía no renovables como el carbón, el petróleo y el gas de petróleo para crear energía. Según nuestro examen, el carbón se utiliza para calentar un líquido (normalmente agua de un calentador) que creará vapor, el cual es conducido a través de conductos a las turbinas donde, debido al desarrollo del vapor posterior, se puede encender un generador de energía.

Los principales componentes de estas centrales son el evaporador, la turbina y el generador. El calentador es el lugar donde se deposita el líquido que se calentará para crear el vapor y se trasladará a través de unas tuberías llamadas serpentinas hasta la turbina. El vapor impulsará esta



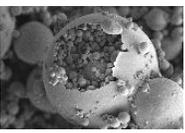
turbina a través de un arreglo de tensiones, provocando el movimiento de un eje asociado al generador. La última opción es la responsable de transformar la energía del motor en potencia. Para adquirir más energía, la temperatura en la caldera donde se encuentra el líquido debe expandirse, lo que debe llegar a temperaturas superiores a las del agua burbujeante, creando así el vapor que será responsable de poner en marcha las turbinas del generador que entregarán la potencia.

Dependiendo del grado de convergencia de los rellenos utilizados para adquirir el vapor, se pueden alcanzar temperaturas medias o altas, obteniendo así diversos grados de potencia eléctrica. A pesar del tipo de combustible utilizado, las centrales termoeléctricas regulares funcionan de manera similar si utilizan gasolina gaseosa, carbón o petróleo para calentar los líquidos (Valderrama et al., 2011)

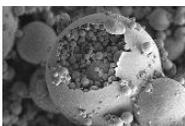
1.6. Fuente de contaminación

El desarrollo de la energía eléctrica a partir de la energía termoeléctrica establece que la utilización del carbón como combustible fundamental, normalmente comienza dos tipos de residuos, los escombros volantes y los escombros familiares o escorias, cuyo contraste principal es el tamaño de las partículas.

Las mejores partículas, por ejemplo, los residuos volantes, se adquieren “por precipitación mecánica o electrostática de los residuos en suspensión en los gases de combustión”, mientras que las más gruesas, conocidas como residuos volantes o escorias, caen a la base por gravedad y suelen extraerse arrastrándolas con agua a los almacenes de acopio entre tiempo. La medida de uno u otro efecto secundario depende de la disposición de la central nuclear, del tipo de calentador utilizado y de los estados del ciclo de ignición. Los residuos volantes suelen constituir el 80 % de los residuos absolutos, y el 20 % sobrante se compara con los residuos básicos o de base. El peso absoluto de la masa de carbón consumida es de 30% de los residuos volantes fabricados en las centrales eléctricas.



Las diferentes clases de carbón y de quemadores utilizados en cada uno de los ciclos dan como resultado las diversas características de los residuos volantes, algunas de las cuales, en particular gracias a sus propiedades puzolánicas, se ha podido comprobar que son valiosas para la fabricación del cemento. Asimismo, influyen en las diferentes propiedades del cemento nuevo y solidificado, especialmente en el interés por el agua (de forma enfática o contraria), el tiempo de fraguado (ampliándolo) y la resistencia a edades tempranas (disminuciones relativas más destacadas que a edades tempranas).



2. Cemento Portland

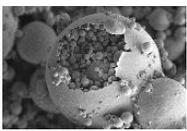
2.1. Generalidades

El hormigón es un material esencial para el desarrollo y el diseño estructural. Su propiedad fundamental es dar forma a masas de piedra protegidas y seguras cuando se mezclan con agua. Según (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2014) "El concreto es un elemento que se adquiere por la trituration del llamado Clinker Portland, con la expansión de por lo menos un tipo de sulfato de calcio"; con propiedades de discontinuidad y resistencia, con la capacidad de unir piezas fuertes y enmarcar de esta manera la estructura de un material seguro y sólido.

La solidificación de la mezcla se produce después de que haya transcurrido un tiempo determinado desde la instantánea de la mezcla, lo que permite que se forme la posterior piedra falsa (moldeada). Estas tres características (flexible, seguro, sólido) hacen que el hormigón sea un elemento determinado que se utiliza generalmente en el desarrollo de cimientos y otros componentes de desarrollo. (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2007)

El hormigón constituye entre el 7% y el 15% del volumen absoluto del cemento; es la parte dinámica del conjunto y, en consecuencia, influye en todas sus cualidades.

De las partes del cemento, es la más costosa por unidad de peso, pero en comparación con otros materiales fabricados es más conservadora. (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)



2.2. Materias primas

El cemento no se descubrió recientemente, porque es un recurso con una larga historia. Específicamente, en la antigua Grecia, esta es la fecha en la que se utilizó por primera vez el cemento, utilizando toba volcánica extraída de Santorini en el siglo I a.C., la antigua Roma también utilizó cemento natural para la construcción, cuya composición los hizo resistentes incluso bajo el agua durante siglos. (Becosan, 2021)

El cemento proviene de una mezcla de caliza calcinada y arcilla, se muele y se mezcla con agua para formar la pasta gris que todos conocemos, muy útil para muchos tipos de trabajos. El yeso es otro ingrediente clave que evita que la mezcla se encoja cuando se agrega agua. (Rocas y minerales, 2016)

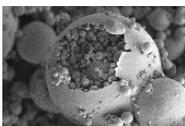
Ilustración 2. *Materiales Calizos (Caliza)*



Fuente: (Rocas y minerales, 2016)

Sus materias primas se encuentran en la naturaleza. Se separan de las canteras o de las minas, dependiendo de la dureza, la calidad y la zona del material, y se aplican ciertos marcos y herrajes de doble tratamiento. Cuando se separa, la sustancia no refinada se reduce a tamaños que puedan ser manejados por las plantas y puede ser expuesta a altas temperaturas, sin embargo esto será una interacción de la que se hablará exhaustivamente más adelante.

Materias primas principales:



1. Materiales calizos; Los materiales calizos suministran cal y alúmina.

La caliza es una piedra sedimentaria compuesta en un 90% por carbonato cálcico.

(CaCO₃), especialmente Calcita y Aragonito.

2. Materiales arcillosos (silíceos).
3. Pequeñas cantidades de óxido de hierro.
4. Componentes en proporciones definidas (crudo, pasta o harina).(ASTM

C150, 2019)

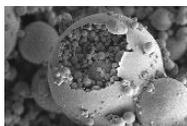
Ilustración 3. Materias primas para la fabricación de cemento



Fuente: Propia

2.3. Composición química del cemento

A diferencia, con respecto a otras industrias, se ejecuta desde la explotación de sus materias primas, lo que la hace una industria única.



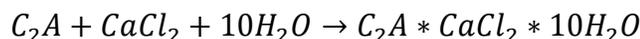
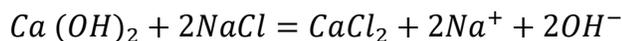
Cal	CaO	60 - 67 %
Sílice	SiO ₂	17 – 25%
Alúmina	Al ₂ O ₃	3 - 8%
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0,5 – 6%
Óxido de magnesio	MgO	0,1 – 7%
Anhídrido sulfúrico	SO ₃	1 – 3,5%

Ilustración 4. *Composición química del cemento.*

Fuente: (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2007)

La presencia en extensiones fluctuantes de piezas de hormigón como el aluminato tricálcico (C3A), el ferro aluminato tetra cálcico (C4AF), el silicato tricálcico (C3S) y el silicato dicálcico (C2S), puede afectar eficazmente a la obsesión de cloruros en el mortero y la mezcla sustancial.

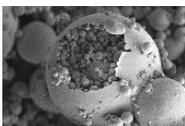
Un aumento de la cantidad de (C3A) puede provocar una disminución de los cloruros en el agua y el disolvente y, posteriormente, demostrar que hay una obsesión más prominente de cloruros en la mezcla. Inevitablemente la sustancia de (C3A) y (C4AF) en el hormigón impacta ampliamente la obsesión compuesta de cloruros por la respuesta que ocurre entre C3A y NaCl (CaCl₂) cuando el cloruro de calcio está disponible (Fonseca Barrera, 2016). Las siguientes ecuaciones nos muestran dicha reacción:



2.4. Procesos de fabricación de las calizas

Según (Acevedo & Guerra, 2005) Al calentar la piedra caliza a más de 900 ° C, calcinarla o descomponerla, se obtiene la llamada cal viva, cuyo componente principal es el óxido de calcio.

Desde la perspectiva del empleo en la industria de la construcción, la cal se divide en:



- Dolomita

También se le llama lima gris o lima magra. Es una cal viva gaseosa con un contenido de óxido de magnesio superior al 5%. Cuando se apaga la llama, es gris y blanda, con poca adherencia, y no cumple con las condiciones de construcción.

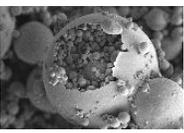
- Lima grasa

Es cal de aire y contiene hasta un 5% de óxido de magnesio. Después de extinguirse formará una pasta fina, viscosa, suave y cremosa.

- Cal hidráulica

Es un material aglomerado en polvo y parcialmente templado que, además de solidificarse y endurecerse en el aire, también se lleva a cabo bajo el agua. Es una roca caliza calcinada que contiene impurezas de Si, Fe y Al a alta temperatura para formar el óxido de calcio libre necesario y apagarlo, dejando una cierta cantidad de silicato de calcio anhidro para dotar al polvo de sus características. Hidráulico. Cuando el contenido de óxido de magnesio no supera el 5%, se denomina cal hidráulica con bajo contenido de magnesio, y más del 5% se denomina cal hidráulica con alto contenido de magnesio o cal hidráulica con dolomita.

- i. Arreglo de la piedra: Consiste en el machacado y cribado esencial y opcional de la piedra caliza. A través de este ciclo, las piedras reciben la medida necesaria para el horno de calcinación. (AVELINO ROMUALDO & SURICHAQUI HIDALGO, 2019)
- ii. Calcinación: La calcinación comprende la utilización de calor para la desintegración (respuesta caliente) de la denominada piedra caliza. En esta interacción, se desperdicia alrededor de una porción del peso, debido a la des carbonatación o debido a la pérdida de dióxido de carbono de la primera piedra caliza. La calcinación es una interacción que



necesita de una gran cantidad de energía para que se produzca la des carbonatación y es en esta progresión cuando la caliza (CaCO_3) se "transforma" en cal viva (CaO)

- iii. **Hidratación:** En esta etapa la cal viva (óxido de calcio) se traslada a un hidratador, donde se le añade agua. Al hidratarse, las piedras de cal viva se transforman en cal hidratada (polvo blanco fino). Se trata de una interacción exotérmica, lo que implica que cuando se añade agua a la cal viva, la respuesta descarga calor.

- iv. **Trituración/embalaje/despacho:** En este ciclo, las partículas hidratadas disminuyen de tamaño y finalmente se empaquetan. La cal hidratada de nuestra organización se empaqueta en sacos de polietileno, polipropileno y papel en varias cargas. Todos los ciclos descritos anteriormente son totalmente modernos. Se realizan severos controles de calidad para cumplir con las pautas necesarias para la producción de cal hidratada. Para ello, se cumple con las necesidades sintéticas (óxido de aluminio, óxido férrico, dióxido de silicio, óxido de magnesio, óxidos no hidratados, dióxido de carbono y óxido de calcio) y con los requisitos previos reales de finura y agua que no están grabados en piedra. Permitiendo ofrecer un resultado de asombrosa calidad (AVELINO ROMUALDO & SURICHAQUI HIDALGO, 2019).

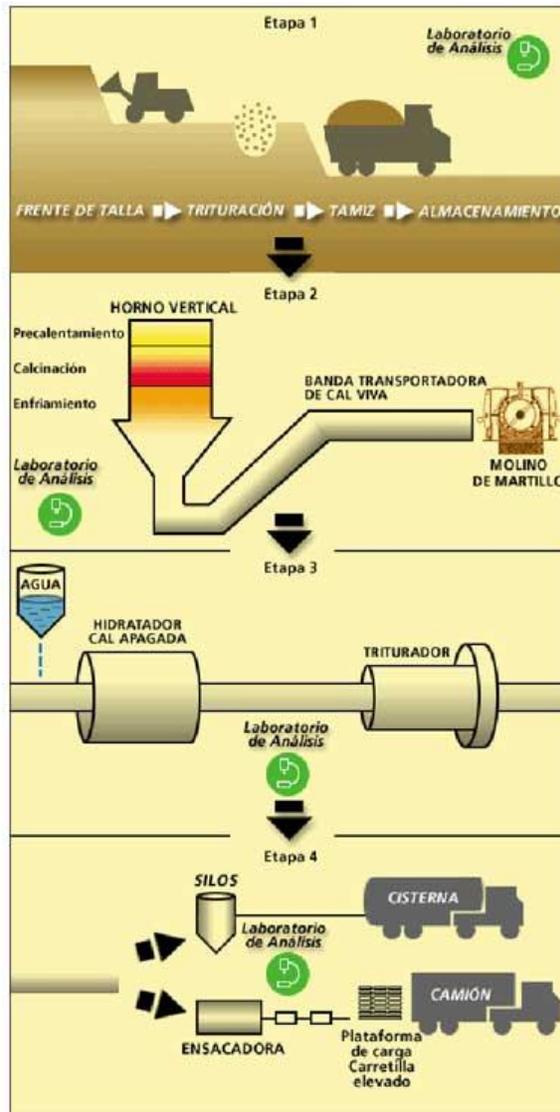
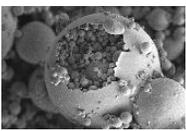
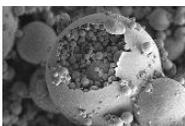


Ilustración 5. Proceso para la fabricación de la caliza

Fuente: (Calco Bolivia, 2015)



2.5. Fabricación de cemento

2.5.1. Producción y preparativo de componentes no refinados

Comúnmente las canteras se aprovechan por impacto controlado, por ejemplo como sucede con los materiales resistentes o duros como la caliza y el disco, a diferencia de lo que pasa en el caso de los materiales delicados (lodos y margas) donde se usan máquinas excavadoras para realizar el proceso de extracción (UNE - EN-197-1, 2019).



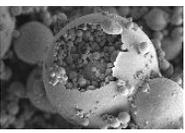
Ilustración 6. Producción y preparativo de materias primas

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento | Características - IECA, 2016*)

El carbonato de calcio existe en la tierra como caliza, marga o tiza. La sílice, el óxido de hierro y la alúmina se encuentran en la arena, el esquisto, la tierra, el mineral de hierro, etc. Los efectos secundarios y las acumulaciones también pueden utilizarse como sustitutos incompletos de los componentes regulares sin refinar. (Barbudo Sanjuán y Yepes Chinchón, 2007).

En Colombia, se utilizan en su mayoría:

- Escoria de alto horno
- Escamas de hierro



- Arenas de fundición
- Lodos de fábricas de papel
- Escorias de centrales térmicas
- Fundición de sílice

La extracción de los componentes regulares no refinados se realiza en canteras, normalmente en fosas abiertas cerca de la planta (caliza, marga y tierra). Las actividades de cantera incluyen la penetración, el impacto, la exhumación, el arrastre y la pulverización de la piedra. Tras la trituración esencial, las sustancias naturales se envían a la planta de hormigón para su capacidad y homogeneización. Otros componentes no refinados se obtienen de fuentes externas (por ejemplo, metales de hierro, arenas de fundición, etc.) (Calco Bolivia, 2015)

2.5.2. Pulverización

Cuando el material ha sido extraído y ordenado, se aplasta hasta un tamaño de molécula razonable para el elemento de trituración y se envía a la planta mediante líneas de transporte o camiones para su capacidad en la licencia de prehomogeneización.

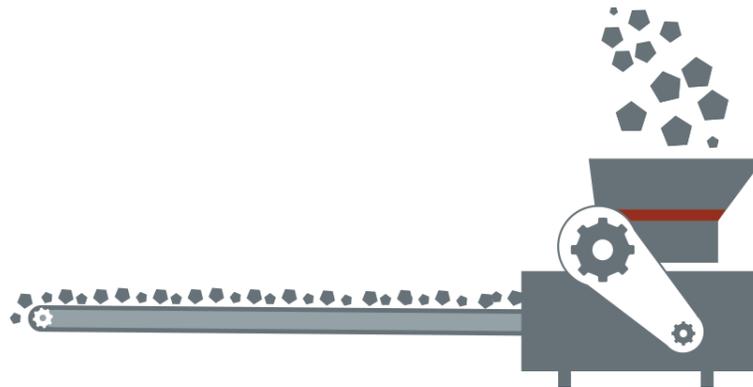
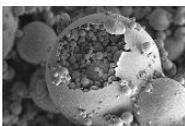


Ilustración 7. Trituración



Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)

2.5.3. Pre-homogeneización

En este proceso el material aplastado se guarda en capas iguales para ser elegido de forma ordenada y controlada. La prehomogeneización ayuda a establecer las estimaciones adecuadas de las distintas partes, disminuyendo su fluctuación.

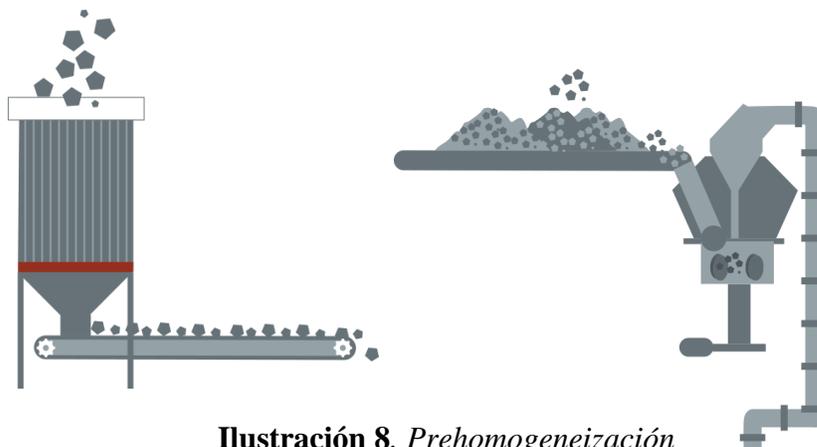


Ilustración 8. Prehomogeneización

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)

2.5.4. Trituración de los componentes no refinados

En este caso los materiales se trituran para disminuir su tamaño y así beneficiar su terminación en el horno. En la planta ascendente, el material es aplastado mediante la tensión aplicada por sus rodillos en una mesa que debe ser giratoria. Luego de eso, la sustancia natural (harina o cena cruda) se guarda en un almacén donde se amplía la consistencia de la mezcla.

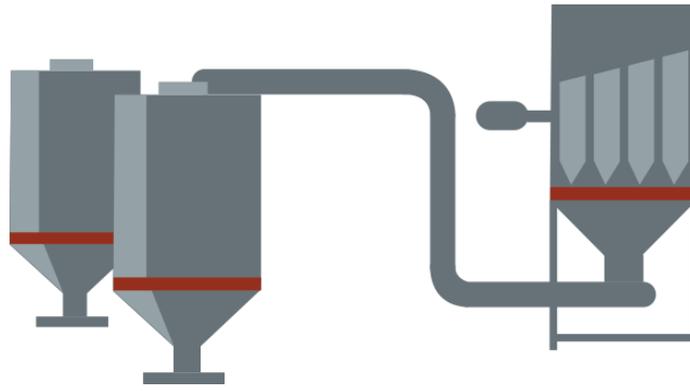
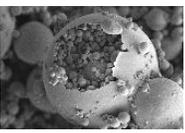


Ilustración 9. *Molienda de crudo*

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)

2.5.5. *Precalentador de ciclón*

El horno es atendido por el Precalentador de tornado, que calienta la sustancia sin refinar para trabajar con la terminación.

La sustancia sin refinar molida se presenta a través de la pieza superior del pináculo y baja por el mismo. En el ínterin, los gases procedentes del horno suben en contracorriente a lo largo de estas líneas precalentando la sustancia sin refinar, que llega a 1.000°C antes de entrar en el horno.

(UNE -EN-197-1, 2019)

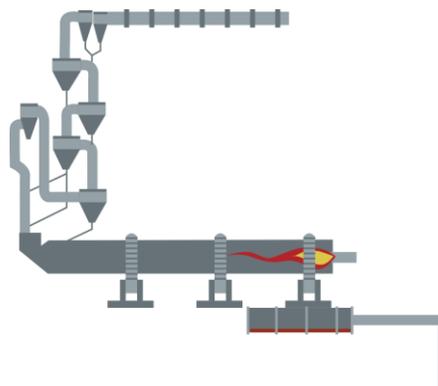
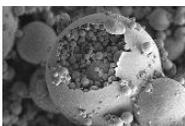


Ilustración 10. *Precalentador de ciclones*

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)



2.5.6. *Fabricación de Clinker - Horno*

La sustancia molida sin refinar se presenta a través de la pieza superior del pináculo y se precipita a través de él. En el interior, los gases procedentes en este caso del horno, suben en contra de la corriente precalentando la sustancia natural, que llega a una temperatura de 1.000°C antes de entrar en el horno.

Para llegar a las temperaturas necesarias para la terminación de los componentes no refinados y la creación de Clinker, el horno tiene un fuego fundamental que se consume a 2.000°C .

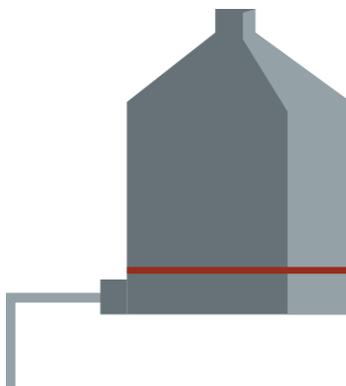


Ilustración 11. *Fabricación del Clinker – Horno*

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento / Características - IECA, 2016*)

Ya en la salida del horno, se toma el Clinker y se introduce en el enfriador, donde se mezcla aire frío, con la finalidad de bajar su temperatura de 1.400°C a 100°C .

Seguido de esto el aire caliente que se crea en este aparato se lleva de nuevo al horno para avanzar en la combustión, desarrollando así la eficiencia energética del ciclo.

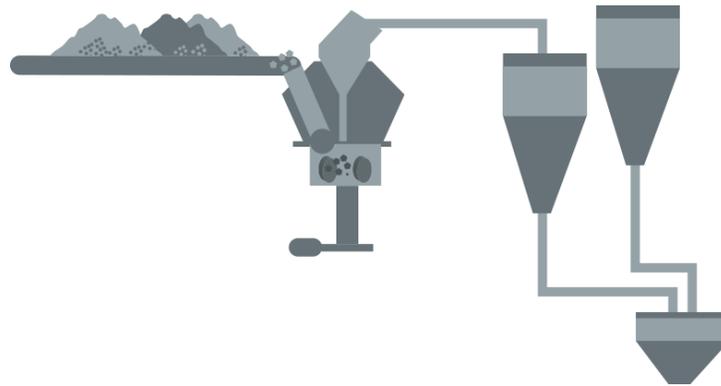
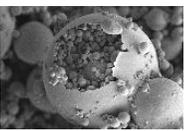


Ilustración 12. *Clinker introduciéndose en el enfriador*

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento | Características - IECA, 2016*)

2.5.7. Trituración del Clinker y creación del hormigón

En este proceso se mezcla el Clinker con el yeso y los aumentos, dentro de una fábrica de hormigón. Las fábricas pueden ser de rodillos y de bolas. Esta última opción consta de un enorme cilindro que da vueltas sobre sí mismo, el cual tiene unas bolas de acero en su interior. A medida que la planta gira, las bolas se golpean chocando entre sí, con el objetivo de ir devastando el Clinker y los agregados hasta conseguir un polvo fino y homogéneo.

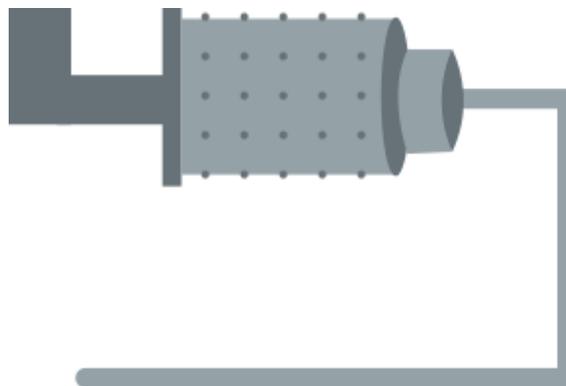
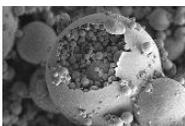


Ilustración 13. *Molienda del Clinker*

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento | Características - IECA, 2016*)



2.5.8. Almacenamiento del cemento

El hormigón se guarda en almacenes, aislados por clases.

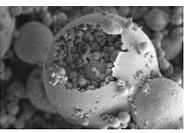
La norma (Norma Técnica Colombiana NTC 121, 2014) nos explica que hay seis tipos de concreto que se ordenan por ejecución y tienen como objetivo esencial la necesidad de asegurar la robustez del cemento y la adaptabilidad de la utilización en curso, además tiene una gran ventaja porque contribuye con disminuir la contaminación ya que es más amigable con el medio ambiente.

Tipo I UG - Uso General

Se utiliza en desarrollos cotidianos, cuando no se necesita al menos uno de los tipos no comunes y cuando los componentes no se presentarán al contacto con especialistas contundentes, por ejemplo, sulfatos que están en la tierra o en el agua, o a cementos que tienen una expansión significativa de la temperatura por el calor producido durante la hidratación. Entre sus sucesivos usos están: asfaltos, pisos, estructuras sustanciales construidas, vanos, estructuras para líneas férreas, tanques y suministros, líneas, trabajos en piedra y otros productos de cemento soportados. (Norma Técnica Colombiana NTC 121, 2014)

Tipo II ART - Alta resistencia temprana

Ordinariamente esta clase de concreto desarrolla grandes calidades en siete días aproximadamente. “Contiene partículas que han sido trituradas más finamente y se utiliza para el avance de hormigones y morteros en plantas considerables y plantas de mezcla” (Norma Técnica Colombiana NTC 121, 2014). Desarrollados con creación sustancial industrializada, diseños sustanciales con necesidades de carga rápida, creación de cemento para aplicaciones subyacentes



altas y ejecución en condiciones contundentes dependiendo del tipo y medida de expansión utilizada.

Tipo III MRS - Protección moderada contra los sulfatos.

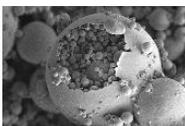
Se utiliza para fabricar hormigones con necesidades de ejecución moderadas en calidades de compresión y protecciones contra los sulfatos. Se utiliza en condiciones de fuerza respetable y en la elaboración de cementos para establecimientos, medianeras, controles, estructuras, incrustaciones y una amplia gama de obras en general

Tipo IV ARS - Alta protección a los sulfatos.

Se usa para el avance del hormigón para condiciones sólidas (donde hay presencia de sulfatos ya sea en los suelos o en el agua de mar), como ejemplo podemos mencionar, alcantarillas, zanjas, plantas de tratamiento de agua, y obras portuarias etc. Su solidificación se obtiene de manera más pausada que la de un cemento.

Tipo V MCH - Calor de hidratación moderado

Crea resistencia a un ritmo mucho más lento que algunos otros tipos. Se utiliza para fomentos cementos con necesidades de ejecución moderada en calor de hidratación y el desarrollo de andamios y tuberías sustanciales.



Tipo VI BCH - Baja ferocidad de hidratación.

Se utiliza para proyectos en los que se debe tener baja capacidad de hidratación y tener en cuenta que en este proceso no debe ocurrir dilatación durante el fraguado, ni contracción durante el secado; para diseños sustanciales monstruosos, en desarrollo de construcciones de gran volumen, por ejemplo, presas de gravedad, divisorias y diques, donde la expansión posterior de la temperatura en el lapso de solidificación debe mantenerse en el menor valor concebible.

<i>COMPONENTE</i> (%)	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>
<i>Silicato tricálcico</i> <i>C3S</i>	50	42	60	26	40
<i>Silicato dicálcico</i> <i>C2S</i>	24	33	13	50	40
<i>Aluminato</i> <i>tricálcico C3A</i>	11	5	9	5	4
<i>Aluminoferrita</i> <i>tetra cálcica C4AF</i>	8	13	8	12	9
<i>TOTAL</i>	93	93	93	93	93

Ilustración 14. *Composición química en el cemento según su tipo de uso*

Fuente: (Maldonado Villa, 2009)

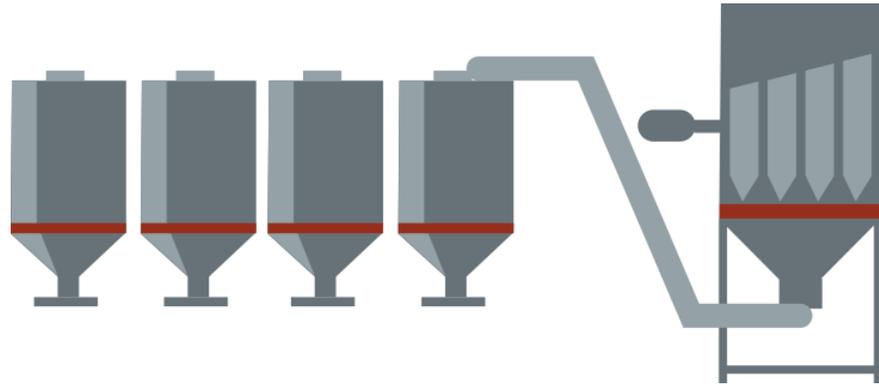
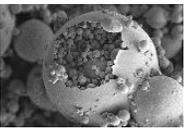


Ilustración 15. Almacenamiento del Cemento

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento | Características - IECA, 2016*)

2.5.9. Distribución o transporte masivo del cemento

El cemento se empaqueta, carga y se distribuye en furgones de alta unidad de capacidad para su debido transporte.

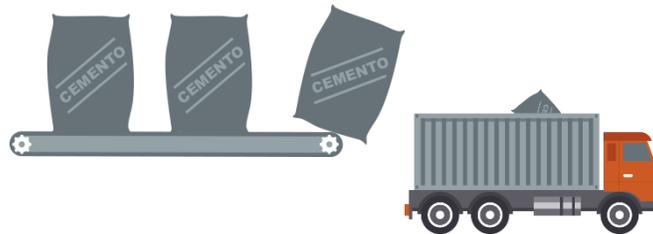
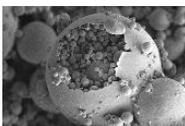


Ilustración 16. Envasado

Fuente: (*Componentes y Propiedades Del Cemento | Características - IECA, 2016*)



3. Impacto en la utilización de las CV de carbón como sustituto no completo del cemento Portland (MCS) en la mejora de las propiedades del concreto

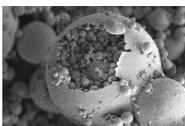
3.1. Papel del carbón y la generación de cenizas por parte de las termoeléctricas colombianas

El carbón redime ya un papel importante en la producción de energía en todo el mundo.

En Colombia, el principal generador de energía son las centrales termoeléctricas, debido a las formidables existencias de carbón disponibles en el país. (Bautista-Ruiz et al., 2017).

Además, el carbón es una fuente importante de acumulaciones contaminantes así como sus residuos “las cenizas volantes”, que en el caso colombiano fueron desechadas durante bastante tiempo y no se han sabido aprovechar. En la actualidad, las industrias, las empresas públicas nacionales han estado trabajando en la representación, el cuidado y la utilización de estos residuos volantes, que se han utilizado como material de relleno y, por último, se han confirmado sus ventajas como aditivo o en su caso como sustituto en el proceso del hormigón y del material de construcción. (Fonseca Barrera, 2016)

Además, la creación de energía en las centrales termoeléctricas depende de la utilización de carbón que, a través de ciclos mecánicos, se expone a la combustión donde la energía se transmite como calor que se utiliza para el alcance del vapor. En la nación se desechan muchas toneladas de cenizas por parte de las centrales. Por ello se ha investigado la influencia de las cenizas volantes como aditivo, como material suplementario o como material cementicio en la durabilidad del concreto Portland.



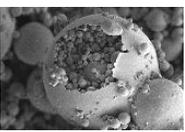
Según (Gomez Perez, 2011) en las centrales termoeléctricas la calcinación del carbón se lleva a temperaturas elevadas que superan los 1500 grados. Las proporciones son enormes de estos residuos, acá en la nación colombiana hay 4 principales termoeléctricas que son las que producen mayores residuos y provocan daño al medio ambiente, por ello también se ve reflejado el estudio de sus propiedades para que sean utilizadas en la adición del concreto o como sustitución del cemento y así también reutilizar estas cenizas que son de gran impacto ambiental.

(Fonseca Barrera, 2016) presentaba un esquema del Plan de Desarrollo de la Subzona del carbón entre los años 1999 - 2010, en el que se evaluaron cinco límites para los carbones de diversos espacios del país.

3.2. Como es su composición química y física según el tipo de ceniza

Las cenizas que se delegan en (Noma ASTM C-618, 2019)

“Son de tipo N, F o C como indican las necesidades físicas y de composición dadas en la norma, que se ven afectadas por las propiedades de elaboración del carbón manejado ya sea (antracita, graso o bituminoso, carbón sub-bituminoso).” (Noma ASTM C-618, 2019)

**Ilustración 17. Requerimientos químicos.**

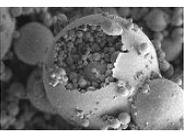
Fuente:(Noma ASTM C-618, 2019)

Clase	N	F	C
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (min %)	70	70	50
SO ₃ (max %)	4	5	5
Contenido de humedad (max %)	3	3	3
Pérdida al fuego, LOI, (max %)	10	66	6

El desarrollo físico-químico de la CV se basa en el inicio y a la interacción de la quema de carbón a la cual fue sometido. Dentro de los requisitos previos de las centrales termoeléctricas, el carbón debe cumplir la cuota de valor calorífico, que se identifica directamente con la temperatura a la que se llega hasta calcinarse, al igual que el volumen de CV que está preparado para crear como acumulación de este ciclo, debido a esto, se pueden encontrar variedades físicas y químicas entre diversas clases de cenizas. (Ossa M & Jorquera S, 1984)

En Colombia, los cenizas volantes están referidos en la NTC 3493, que alude a la utilización de estos restos como incrementos al concreto OPC. Esta norma ordena las cenizas volantes en:

Clase F: Residuos volantes entregados típicamente en el consumo de carbón graso o bituminoso. Esta clase de residuos tiene propiedades realmente sorprendentes como las puzolánicas y son creados por calcinación de carbón bituminoso o antracita, con un contenido



básico de sustancias como el hierro, silicio y aluminio demostrados así con esta fórmula general $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$.

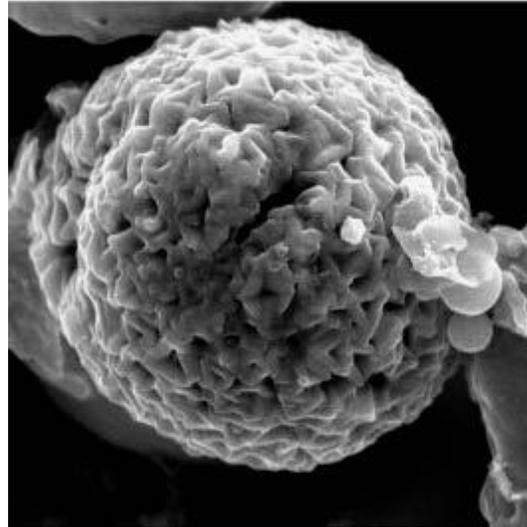


Ilustración 18. Ceniza tipo Ferrosfera

Fuente: (Fonseca Barrera, 2016)

Clase C: Escombros volantes típicamente entregados en el consumo de carbón lignítico o su bituminoso. Esta clase de escombros volantes, además de tener propiedades puzolánicas, tiene algunas propiedades cementantes. Algunas cenizas volantes de la clase C pueden tener sustancia calcárea, superior al 10 %, creada por calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito, con un contenido de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ de base del 50%. Estas cenizas tienen propiedades cementantes al tener un contenido de cal superior al 18% (NTC 3493, 2019)

(Norma ASTM C-618, 2019): Norma internacional la cual establece especificaciones estandarizadas para los residuos volantes de carbón y la puzolana regular cruda o calcinada para su uso en el hormigón, en Colombia la norma equivalente o que maneja estos mismos conceptos es la Norma Colombiana NTC 3493.

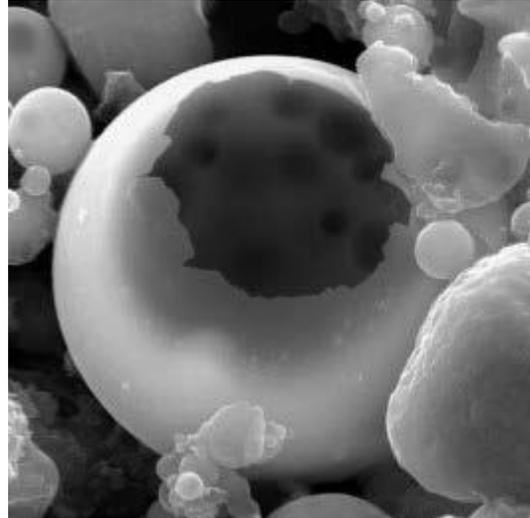
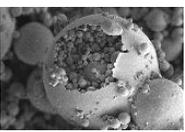
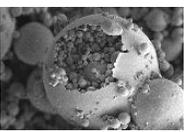


Ilustración 19. *Ceniza tipo Cenosfera*

Fuente: (Fonseca Barrera, 2016)

Según lo anterior, está claro que las partes principales, según la perspectiva química, son el SiO_2 y el Al_2O_3 , que son los que deciden el movimiento puzolánico, que depende relativamente de lo contenido de los compuestos. (Kurdowski, 2014)

Esta clasificación de cenizas es aplicable a la cuestión de los aditivos al cemento Portland, ya que las variedades en la disposición de la sustancia no refinada conducen a la iniciación a través de las proporciones molares S/A y N/S en diversos alcances. Aunque los dos hormigones actuados dependientes de los desechos de las termoeléctricas son vistos como entramados cementicios promulgados solubles, se ha distinguido que tanto la forma de diseño como los cursos de los sistemas compuestos de obtención de la resistencia mecánica son únicos en relación con el hormigón convencional (Bernal López et al., 2009)



3.3. Puzolanas naturales y artificiales como aditivos minerales

El aditivo mineral más utilizado en la industria cementera es la puzolana según (Dodson, 1990)

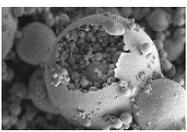
La puzolana en si producida por la energía se caracteriza por ser rica en sílice y aluminio ellos asi por si solos no tienen propiedades cementicias pero se pueden activar y responder gracias a su composición química y se puede llegar a emplear como un buen aditivo para mejorar también las propiedades del concreto.

Esta reacción sintética entre las partes de alúmina silícea y adicionalmente silícea de la puzolana, el hidróxido de calcio y el agua se denomina reacción puzolánica.

Según la Norma Técnica de Colombia las adiciones para el cemento se pueden utilizar varios tipos de puzolanas en las que redundan principalmente las naturales y artificiales, ellas poseen propiedades que ayudarían al concreto y será un buen material para construir ya que se mejorara su impermeabilidad, resistencia y sobre todo la durabilidad que es uno de las mejores cualidades que puede mejorar el uso de estas cenizas.

Las puzolanas mencionadas anteriormente proporcionan una oposición mecánica a largo plazo; estabilidad contra el desarrollo debido a la respuesta total antiácida, al contenido de sulfatos y cal libre; durabilidad contra el agua pura y ácida; disminución del calor de hidratación; impermeabilización por disminución de poros y ampliación de la macidez. (NTC 121, 2014)

Escorias: se adquieren hormigones de baja temperatura de hidratación, que contienen sin embargo poros más modestos (gruesos pero no totalmente porosos), alta resistencia última,



solidez (alta protección contra los sulfatos, el agua de mar y la respuesta total de los antiácidos), y mejoras en el desarrollo del cemento (funcionalidad, caída, impermeabilidad).

Piedra caliza: afecta físicamente al mortero debido a una densificación más prominente, construye funcionalidad, inflama la tasa equivalente o mínima agua independientemente de la finura que se controla y añade a la revisión de los periodos de fraguado.

3.4. Hidratación del Cemento Portland y comparación cuando las cenizas volantes reaccionan a la misma

El hormigón se compone principalmente de **silicatos y aluminatos de calcio** que, al unirse con el agua, estructuran **silicatos y aluminatos de calcio hidratados**.

El hidróxido de calcio libre o "Portlandita" queda como efecto secundario de la hidratación

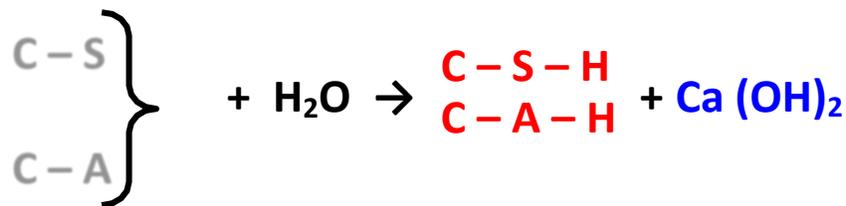


Ilustración 20. *Hidratación del cemento*

Fuente: (Arbelaez, 2018)

Cuando las Cenizas Volantes (Sílice – Aluminosas) entran en la ecuación

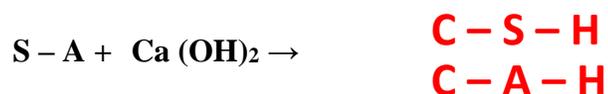
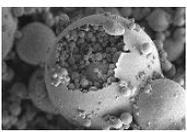


Ilustración 21. *Hidratación de las cenizas volantes*

Fuente: (Arbelaez, 2018)



La utilización de cenizas volantes en el hormigón origina la reproducción de los elementos de hidratación extra y de refuerzo.

3.5. Como se hidratan de manera adecuada las cenizas

El ciclo de hidratación para activar las propiedades puzolánicas y de mejoramiento en el concreto se ve reflejada en la siguiente ilustración, la cual nos muestra paso a paso una buena hidratación de estos granitos que son ricos en potasio y calcio que conjunto a un Hidróxido reaccionas de forma indefinida formando una buena respuesta para su uso.

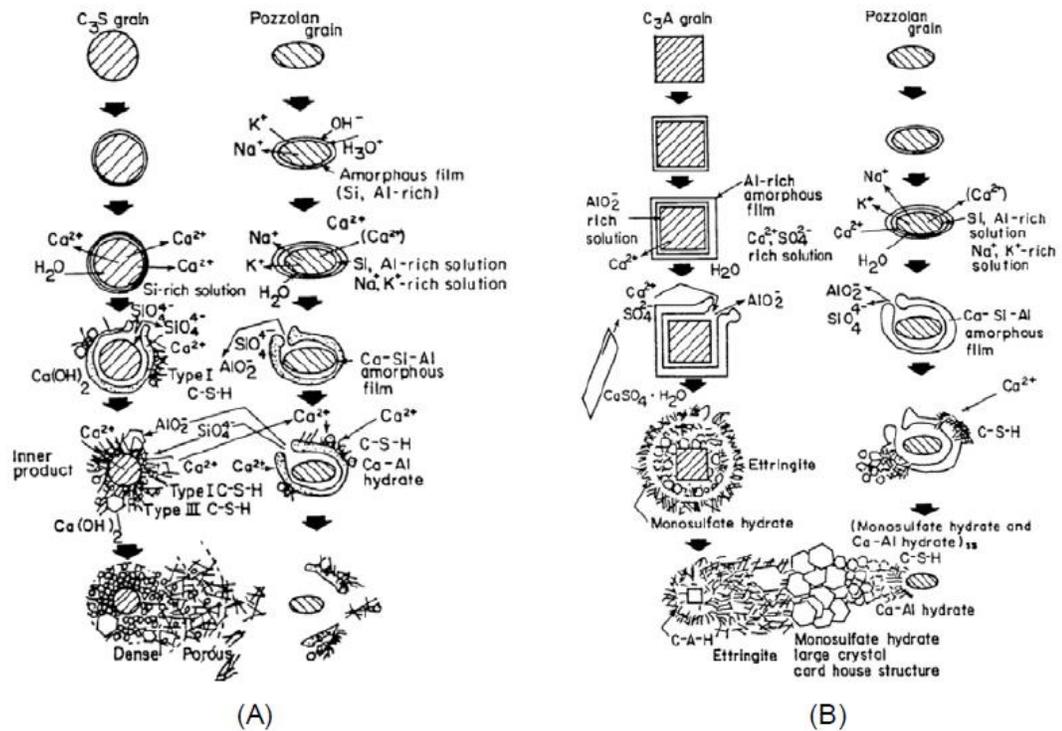
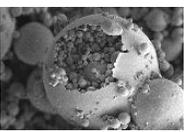


Ilustración 22. Hidratación de la ceniza

Fuente:(Ramezaniapur, 2013)

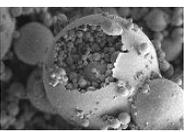


3.6. Actividad química de la ceniza

- ✓ Alta finura - idealmente debe provenir de carbón vegetal triturado
- ✓ Baja humedad - idealmente utilizar restos nuevos guardados en almacenes
- ✓ Baja contaminación - idealmente con pocos contaminantes no quemados o diferentes
- ✓ Organización adecuada de los compuestos
- ✓ Minerales en estado nebuloso - idealmente carbón consumido a alta temperatura

Según DÍAZ HERNÁNDEZ & ALIPIO SARMIENTO (2020) las necesidades de la estructura u organización química de las cenizas volantes para las medidas de la tasa mínima (%) en base del dióxido de sílice (SiO_2), el óxido de aluminio (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3), para el tipo de CV F y C, es del 70% y la mitad (50%), con los contenidos de humedad más extrema del 3% y las pérdida de fuego más extrema del 6%. Adicionalmente habla de las propiedades reales de base que los CV deben ser inventariados en la NTC 3493, entre ellas está la finura, que no puede superar el 34% de la carga retenida, un ejemplo cuando se pasa por un tamiz de 45 micrómetros (tamiz n° 325), la gravedad específica y densidad.

En cuanto a las sustancias naturales, hay algunos límites que permiten evaluar la posibilidad de utilizar cenizas para los fines adjuntos que permiten evaluar la viabilidad de utilizar estos residuos para adquirir materiales cementantes (Fernández Jiménez & Palomo Sánchez, 2003).



Estos límites son de químicos permitidos por la norma:

*Óxido de Calcio en un porcentaje menor a 8%

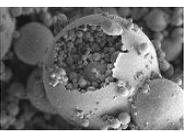
*Óxido de Hierro menor al 14%

* La sílice activada se puede utilizar a un porcentaje de mayor a 40

*Las partículas deben pasar por el tamiz número 45 para que se puedan utilizar.

La activación compuesta de estas cenizas depende de varios elementos como lo son la temperatura a la que se calcinan respectivamente y al tiempo de enfriado por decirlo así, que pueden impactar en la naturaleza conforme del material que se puede obtener.

La activación de sustancias químicas es un término utilizado para retratar el ciclo de respuesta, que se realiza por poli condensación a bajas temperaturas para suministrar geopolímeros. El término fue engendrado por Joseph Davidovits en 1978 tras crear una investigación sobre materiales de desarrollo no tóxicos y no inflamables (Radford et al., 2009)



3.7. Propiedades óptimas para poder cumplir como material cementante suplementario

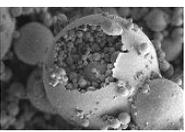
3.7.1. Propiedades físicas

Según VARGAS et al., (1980) la ceniza no es un material semejante u homogénea, ya que para que cumpla con ciertas propiedades físicas que establece la normativa debe pasar por ensayos de laboratorio como tamaño de partículas (granulometría), algunas estructuras compuestas, etc. Las cenizas están formados por partículas generalmente redondas, algunas de las cuales son partículas combinadas oscuras y opacas (que contienen mezclas de hierro), mientras que otras son partículas claras y tenues no entrelazadas.

Color: Su tono va de crema a un oscuro apagado ya que el impacto de calcinación del carbón, y su contenido químico como hierro y aluminio. De entrada, su aspecto es básicamente el mismo que el del hormigón Portland ya que es un polvo homogéneo conformado por muchos elementos que le dan aquel color; sin embargo, el aspecto oscuro de las cenizas volantes es un efecto inmediato de la combustión del carbón en condiciones de oxígeno reducido. La tonalidad de ellas en el interior de la planta puede variar de claro a oscuro.

Finura: Enuncia (OWENS, 1979)

La finura de las cenizas debe ser por tamizado para que sus partículas sean muy finas y así mejorar su resistencia para el concreto, su tamizado debe pasar por el tamiz número 45 micras (325).



Las técnicas utilizadas para cuantificar la finura son

- Directa: Tamiz n° 200 y negativo. Tamiz 325; al menos el 80% del material debe pasar por el tamiz n° 325 y una acumulación más extrema del 20% en el tamiz n° 325.

-Indirecta: Técnica de Blaine y estrategia fotografía.

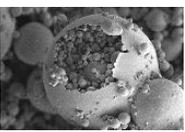
Los rayos X presentan la coalición de los minerales y el tamaño de las partículas con la granulometría. El aumento de la finura de los residuos desarrolla aún más la utilidad y el movimiento puzolánico a pesar de las mezclas de hormigón (GARCÍA B & PONCE DE LEON, 1978).

Gravedad específica. La gravedad requerida para cumplir sus propiedades es de 2,2 y hasta llegar a un 2,8 como máximo esto está en unidades de gramos sobre centímetro cubico. Los abundantes índices de hierro pueden sobrepasar la gravedad, porque a medida que aumenta la presencia de carbono en las cenizas, ésta disminuye. Es alrededor de 2/3 de la gravedad específica del Portland.

Algunas partículas de ceniza como las tipo C (Cenosfera), flotan en el agua y las partículas al flotar en el agua quiere decir que su densidad es mucha más baja que la del agua, siendo su gravedad específica menor o igual a uno. (ERLIN & STARK, 1990)

La densidad se basa mucho del tamaño de sus partículas, es decir con el material retenido en el tamiz requerido. (VALBUENA, 2006).

La densidad de estos materiales con un porcentaje de humedad ideal para ellas y en un estado de compactación hecho en laboratorios esta entre 1120 como mínimo y 1300 como



máximo esto es en unidades de Kg sobre m³. Y en esta natural y libre de compactación está en un 650.

Tamaño de la molécula. Las moléculas muy finas tienen su tamaño entre 0.001 mm y 0.5 mm, además el ser tan finas les da el privilegio de contener piedras preciosas muy pequeñas de sílice, uno de los elementos del cual se compone una parte las cenizas.

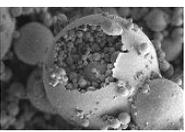
Según el tamaño circular de la mayoría de las partículas, las cenizas son un polvo más bien como una harina granular con cualidades que ninguna otra tiene y con atributos interesantes. Por la normativa y la legalidad, este conjunto de materiales gruesos, ósea granulares y un poco arenosos tiene una estimación de energía de 3 a 10 ciclos superior a la porción retenida por el tamiz número 45, y con ello se demuestra que hay presencia de carbón ya calcinado y quemado. (MARSH et al., 1985)

Índice de Plasticidad. Las pruebas realizadas por (VARGAS et al., 1980) en cenizas de Termozipa, una central termoeléctrica en Colombia, nos demuestran por laboratorios que las cenizas son materiales no plastificantes NP. Demostró por granulometría que es de tipo Fino y que estas partículas no se adhieren y no tienen buena compactación.

Permeabilidad. En la misma demostración de laboratorios anterior por Vargas, se dedujo un valor del K permeable menor a 4 cm sobre segundo. (VARGAS et al., 1980)

3.7.2. *Propiedades Químicas*

Las cenizas volantes se componen de círculos lisos mezclados con material vítreo y cantidades de carbono mezclados con material translúcido y cantidades de carbono. Se componen en su mayoría de tres componentes: Silicio, Aluminio y Hierro.



La creación sintética de cenizas volantes según la norma NTC 3493 (ASTM C618), nos solicita básicamente por lo menos un 70% de óxidos una combinación entre el elemento de un 5%.

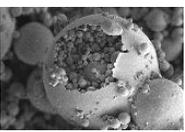
Hay otras necesidades sintéticas discrecionales de magnesio (MgO) y bases solubles accesibles (Na₂O), cuando son accesibles. (Na₂O), cuando las cenizas van a ser utilizados para fines específicos como es el ejemplo en las calderas para disminuir la réplica álcali/agregado. (MEININGER, 1982)

Porcentaje de humedad. Su humedad es variable, debido a que se tiene la necesidad de saturar los desechos durante la capacidad para mantenerse alejado de la volatilización; el contenido de humedad está entre el rango de 30% y 70%.

Pérdida por combustión. Se iguala concisamente con el carbón libre y su contenido; en todo caso, hay diferentes elementos, por ejemplo, el dióxido de carbono CO₂ y el dióxido de azufre que intervienen principalmente en ellas. La norma establece un 6% como máximo porcentaje en pérdidas.

Una alta pérdida nos lleva a pérdidas por combustión y ello provoca la extinción de la capa externa de las partículas de carbono que suben al plano superficial. Estos carbonos, presentan problemas de combustión, produciendo una alta combustión de residuos, creando cenizas con alto contenido en carbono.

Respuesta en agua. (GARCÍA B & PONCE DE LEON) en el año 1978 demostraron que entre el 2 y el 3% de las cenizas son disolventes en el agua y su respuesta es primordial, debido a la sustancia de elementos muy semejantes que le dan al cemento Portland la respuesta antiácida como lo son silicatos de calcio, aluminatos y cal libre.



3.8. Componentes químicos óptimos para que se pueda usar la ceniza como MCS o Sustituto

Los componentes posteriormente presentados son los componentes básicos para una óptima utilización de la ceniza como MCS o Sustituto del cemento, si esto no llegase a cumplirse descartaría su uso:

Tenemos el silicio, el aluminio, el hierro, calcio, magnesio, titanio, potasio y azufre. Los porcentajes determinados por la norma se verán más adelante.

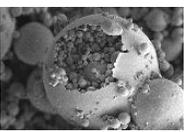
Los componentes presentes en las cenizas volantes y sus propiedades óptimas para que sean un buen sustituto parcial del cemento:

Sílice (SiO_2). Debe estar entre el 25 % y el 60 % en la ceniza. Se encuentra en cenizas ricas en silicatos de calcio, aluminio y hierro, preparados para responder sintéticamente a comparación el Portland contiene aproximadamente un 21% a 22% de sílice.

El aluminio (Al_2O_3). Este componente se ve en la ceniza como en un estado cristalino oscuro, ya que está continuamente adherido a la sílice y está en un rango 10 a 30 %. El rango de este componente en el Cemento portland está entre el 3 y el 7 %.

Hierro (Fe_2O_3). Se presenta en un ámbito del 5% al 25%. En el Portland se encuentra en un 1%; sin embargo, en los cementos usados para construcciones marítimas o cercas al mar suele ser de hasta un 9%.

Cal (CaO). El óxido cálcico se presenta en las cenizas en un bajo porcentaje, pero las cenizas para cumplir con sus características para ser material adicional o MCS su contenido de



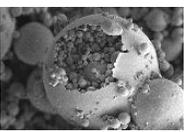
cal debe ser muy poco ya que su reacción química con otros componentes como los dichos al principio provocaría una falla en la reacción y consecuentemente su desecho total, se debe de hacer también una buena hidratación y un buen aporte así como se hace en los pasos del cemento.

El magnesio (MgO). Se encuentra en estado liso y como un óxido. Este componente es responsable de las prolongaciones en la mezcla. Su porcentaje de contenido en la ceniza debe de ser muy menor al 5% entre más pequeño mejor será su reacción esto según la NTC 3493 y ASTM C618.

Titanio (TiO_2).Prácticamente es lo mismo que la sílice, sin embargo su enfoque es poco hasta el punto de no ser considerado.

Bases solubles de Sodio y Potasio que se presentan como óxido. (Na_2O) (K_2O). Del 1 al 50% de los antiácidos son disolubles en el agua. El reglamento nos dice que su porcentaje debe de ser de 1,5% en las cenizas óptimas.

Azufre (SO_3). En su estructura anhidra, procede a lo largo de estas líneas al yeso en el hormigón. La NTC 3493 establece un límite del 5% de este componente y el Portland sostiene un rango entre 1 y 2 %.



4. Comparación y análisis por medio de los artículos estudiados durante la investigación

“Teniendo en cuenta la actitud de las cenizas frente a los ensayos y la probabilidad de hacer que sus propiedades sean perfectas esto según los porcentajes vistos durante el capítulo tercero se fueron redactando e investigando varios estudios en el desarrollo de activar sus propiedades y en particular en la producción de cemento Portland, en algunas naciones durante los últimos 25 años han tenido buenos resultados con amplios logros como lo son Estados Unidos, Inglaterra, Francia, España y Brasil, entre otros”. (Chávez & Guerra, 2015)

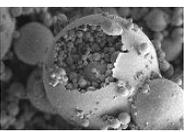
Las principales aplicaciones que se le logran dar uso a las cenizas:

*Aditivo para el concreto, un aditivo para mejorar su resistencia y su durabilidad mayormente.

*Para pavimentación como un aditivo también.

*Estabilización de Taludes y de su suelo respectivamente

En la construcción, la ceniza se ha convertido en un material de un gran uso y beneficio para todo tipo de estructuras, es por ello que con el pasar de los años, los diferentes entes que hacen parte de los avances y desarrollo de la ingeniería civil se han puesto en la tarea de realizar análisis que conllevan al mejoramiento de las propiedades del concreto con la adición o MCS con ella, teniendo en cuenta la necesidad de hoy en día de cuidar el medio ambiente, se optó por el aprovechamiento de las cenizas ya que su uso ayudara tanto a el avance de la ingeniería como a la reducción de impacto ambiental, ya que así no serán desechadas sino que se les reutilizara para



aprovechar al máximo sus propiedades. A continuación, presentaremos a manera de análisis y comparación algunos artículos que se investigaron, dar aporte al tema de esta monografía y ayudaran a tener bases claras para realizar las respectivas conclusiones de este artículo.

I. *El trabajo de Molina, (2008)*

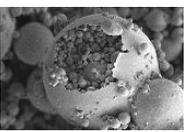
Nos habla de *la influencia de estos materiales o residuos volantes de carbón como un posible sustituto del cemento Portland*, en esta investigación manifiesta el autor que:

Con proporción a la porosidad, la cantidad mayor de las veces la expansión de los residuos disminuye la porosidad absoluta de la sustancia al tiempo que afina el poro.

Con respecto a la oposición de entrada de dióxido de carbono, la expansión de los residuos desarrolla aún más la conducta de obstrucción de la infiltración de CO₂ de los cementos utilizados en la prueba. Esta conducta podría deberse a un refinamiento más articulado de la construcción permeable en los cementos realizados con el tipo de hormigón utilizado y a la utilización de Portlandita abierta debido a la expansión de los residuos.

En el aseguramiento de la invasión de agua bajo presión, el desarrollo de los residuos volantes de carbón disminuye la profundidad de la entrada de agua bajo presión para altas porciones de cemento. En cuanto a sus medidas bajas en la expansión de las cenizas podría causar una conducta opuesta.

Con respecto al módulo de flexibilidad en la presión, los cementos que pertenecían a las cenizas y al hormigón muestran mayores alzas del módulo que los cementos.



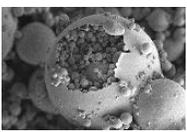
A partir de la información obtenida podemos suponer que los restos volantes, utilizados adecuadamente, establecen una expansión funcional que puede actuar sobre las propiedades resistentes y mecánicas de los cementos, en general. La mejor utilización de las cenizas disponibles en el mercado depende de la investigación de las propiedades del hormigón y de la mezcla (restos volantes y hormigón).

Comentario. Con esta revisión y las pruebas realizadas por el creador de la propuesta, podemos tomar referencias que prometen que la utilización de estos materiales estudiados puede ser de una buena propiedad para el concreto para mejorar su resistencia pero solo como un aditivo más no como sustituto.

II. *El trabajo de Chávez & Guerra, (2015)*

Se dice que estas cuatro centrales termoeléctricas adjuntas fueron contempladas y tomadas como referencia para los estudios: Termo Paipa, Termozipa, Termo guajira y Termo tasajero, siendo esta última la de mayor interés en este trabajo. Los resultados arrojados fueron los siguientes.

Finalizando, con los resultados agregados de los ensayos realizados con restos de ceniza de las plantas de Termozipa, Termo Paipa, Termo guajira y Termo tasajero, se tiende a ver que en Termo Paipa y Termozipa se obtuvieron resultados ideales al suplir el hormigón con escombros a edades del 10% y superiores; no obstante, se tiende a exigir que el contenido de inquemados en las cenizas sea la justificación de la disminución de la resistencia a la compresión en todos los casos. A medida que aumenta el contenido de cenizas en la mezcla, la presencia de materiales no quemados se incrementa, disminuyendo la resistencia a la compresión de los modelos.



Una de las consecuencias más importantes concluidas en este estudio de las cenizas de Termo Tasajero es que la resistencia disminuye conjunto el curado es aproximadamente entre los 7 a 21 días, cuando se utiliza un nivel de sustitución de la ceniza desde un 10% a un 30%.

III. *El trabajo de (Bautista et al., 2017)*

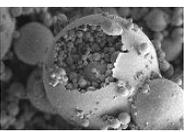
Nos habla de la adición de las cenizas como aditivo en la fabricación de cemento y nos presentan algunos efectos posteriores a la representación de las cenizas volantes, CV, entregados por la ignición del carbón en la central termoeléctrica Termo Paipa IV en la zona de Boyacá, Colombia. Las metodologías utilizadas para el estudio:

Exámenes de rayos x, fluorescencia de los mismos, microscopia y foto electronica.

Los exámenes XRF y XRD han demostrado que las escorias volantes de tipo F de este trabajo pueden ser utilizadas como una sustancia adicional para la creación de sustancias sustanciales, esencialmente por la aparición de aluminosilicatos débiles ordinarios en este tipo de residuos, que responden hábilmente con los hidróxidos de calcio.

Se han encontrado hematita (Fe_2O_3), cuarzo (SiO_2) construyendo arreglos de separación que hacen posible la mejora de los hidratos sustanciales. Asimismo, los resultados de laboratorios de óxido de calcio arrojan un bajo contenido, lo que da un beneficio básico a las clases de cenizas, ya que da la mejora del recubrimiento debido a la respuesta fundamental de sílice.

En general, los resultados demuestran que los C.V. tomados de una central que está en el departamento de Boyacá donde se realiza la quema de carbón proporcionados por la Compañía



Eléctrica de Sochagota SAESP - Termo Paipa IV, rige con los requisitos por parte de la normativa y propiedades necesarias para su uso en el negocio del cemento.

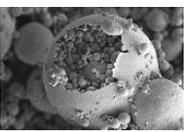
Los CV de esta central termoeléctrica, por su medida de material no quemado, constituyen la sustancia natural a ser utilizada en la producción de bloques, ya que pueden dar energía en la etapa de sinterización.

Aunque la composición de aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3) (24,62%) (4,51%) son bajas se destacó de la estimación necesaria de aluminio y hierro en el CV a reconocer por las plantas de alúmina y las fábricas de acero para su extracción, es factible pensar en una interacción de beneficio con la que se puedan eliminar estos tipos de óxidos.

IV. *El trabajo de (Huaquisto & Belizario, 2018)*

Que tiene como objetivo la dosificación de las mezclas de cemento mediante la adición de ceniza para no reducir la obstrucción y ayuda a aliviar el clima. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Los desechos volantes utilizados en el plan de mezclas de cemento en tasas del 0% al 7,5% mantienen una obstrucción típica según el particular; es más, a los 28 días para estas tasas de desechos volantes, se alcanzan protecciones sobre la oposición del cemento ordinario; posteriormente, con el impacto de aliviar el clima, las mezclas de desechos volantes deberían utilizarse en extensiones inferiores al 10%.



Las tasas de residuos volantes superiores al 10% en el plan de mezclas de cemento disminuyen la resistencia del sustancial, en este sentido es importante utilizar incrementos, por ejemplo, nano sílice, aditivos o diferentes fuentes de información.

En el momento en que el cemento se refuerza con ceniza para aumentar sus cualidades se debe tener en cuenta que se debe añadir a ciertos porcentajes como lo son de al menos máximo 6%. Por último, la expansión de la ceniza al hormigón sugiere una disminución de la porosidad debido a su finura, lo que no infiere un aumento de la resistencia.

V. *En el trabajo realizado por (Gómez, 2012)*

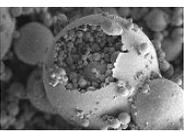
Nos hablan de cómo aprovechar estos desechos que dejan las centrales termoeléctricas y de cómo darles un uso como un material provechoso para la construcción.

Gómez nos dice que estos residuos de carbón no debe usarse en cantidades exageradas por ello hay porcentajes para su composición para darle un buen uso tanto en el sector de la construcción, ya que si no llegase a cumplir con lo regido en la norma no podría mejorar las propiedades del concreto y podría causarnos dolores de cabeza. Por ello se debe tener un control y utilizar las cantidades necesarias de tal manera que al incluirla en la composición esta sea de beneficio más no desfavorable.

1) tamaños de molécula excepcionalmente enormes.

2) alta sustancia de material no quemado.

El material puede ser mejorado por los ensayos fundamentales como el cribado. No obstante, ciertas tesis toman el material en atributos similares a los que se irradian en una industria, en



consecuencia, la prueba elegida aborda los estados de la sustancia sin refinar descargada a la hora del análisis. Además, el pre tratamiento por cribado incluye inferido:

(I) una mayor utilización de la energía.

ii) La completa utilización de todos estos desechos los eliminaría del medio ambiente, y así estaríamos ayudando mutuamente al medio ambiente y a la industria de la construcción.

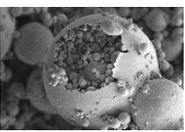
VI. *El trabajo de (Valderrama et al., 2011)*

Nos habla de unas características y como se desempeña el concreto conjunto a la adición respectiva de las cenizas

Se dice que las cenizas de tipo F presentan un mayor contenido de inquemado que es superior al 10% lo cual supera lo establecido en la norma y que puede ver afectado a la utilización de la misma en el hormigón. Según la normativa el nivel ideal o primordial para la expansión del contenido de inquemado es del 10%, ya que estas expansiones traen consigo propiedades constructivas muy buenas.

En comparación con la sílice, el CV mostró una ejecución de segundo orden para todas las propiedades evaluadas, excepto para la ejecución del cloruro, en la que se adquirieron resultados equivalentes para el 30% de los restos volantes.

En los trabajos en curso, se prescribe realizar combinaciones sustanciales con incrementos de cenizas volantes en rangos del 30% y superiores y valorar las propiedades físicas y mecánicas



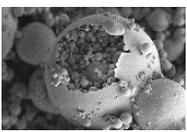
y de presentación fuerte; de modo que se desglosen tanto las ventajas como los inconvenientes de recordar esta acumulación para el desarrollo de materiales.

VII. *Según la Tesis, (Gómez Perez, 2011)*

Que hacen un aprovechamiento de las CV como material cementicio

Desde el punto de vista ecológico, los residuos de cenizas tienen sugerencias que podría agruparlos como residuos peligrosos, ya que presentan peligros para el bienestar por la respiración interna debido a su tamaño y disposición de los compuestos. Asimismo, pueden introducir peligros adicionales para el clima debido a su sustancia metálica sustancial y su destructividad. Por lo tanto, su tratamiento y eliminación requiere una consideración única.

Se han realizado diversas pruebas en todas partes, algunas de las cuales han logrado resultados de resistencia mecánica y cordialidad que han superado la exhibición de materiales obtenidos con el típico hormigón Portland.



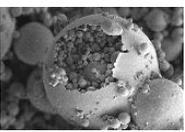
Conclusiones

A partir de las investigaciones y estudios realizados en los diferentes artículos y tesis recolectados podemos concluir que, si es favorable incluir la ceniza mas no sustituir por completo el cemento por la ceniza volante de carbón, pero debe realizarse bajo estrictas condiciones como las siguientes.

-La ceniza volante implementada debe ser completamente pura, o en su defecto que tenga los porcentajes en sus propiedades tanto físicas como químicas mostradas en el transcurso de la investigación para ser una ceniza óptima para utilizar como MCS o aditivo.

- La ceniza volante no debe usarse en cantidades exageradas por ello hay porcentajes para su composición para darle un buen uso tanto en el sector de la construcción, ya que si no llegase a cumplir con lo regido en la norma no podría mejorar las propiedades del concreto y podría causarnos dolores de cabeza. Por ello se debe tener un control y utilizar las cantidades necesarias de tal manera que al incluirla en la composición esta sea de beneficio más no desfavorable.

- Para esta situación como aditivo mas no como sustituto, los residuos volantes se utilizan en su estado bruto, seco o húmedo, para suplir parte de los totales en el hormigón. En este tipo de utilización como aditivo la ceniza, la composición de la ceniza no tiene una importancia concluyente, ya que lo principal es su finura, ya que esta propiedad amplía la flexibilidad de la sustancia y la resistencia mecánica de las mezclas de cemento Portland indefenso, al tiempo que disminuye la porosidad de la sustancia y previene el aislamiento.



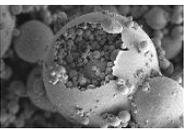
- El carbón calcinado a utilizar en este caso debe ser bien seleccionado, se debe verificar de donde proviene y todos los estándares regidos por la normativa nacional e internacional en cuanto a su calidad del material para adicionar en el caso de usar las cenizas como aditivo.

- El material puede ser mejorado por los ensayos fundamentales como el cribado. No obstante, ciertas tesis toman el material en atributos similares a los que se irradian en una industria, en consecuencia, la prueba elegida aborda los estados de la sustancia sin refinar descargada a la hora del análisis.

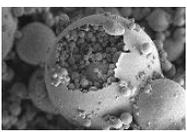
En las investigaciones se observó que la utilización de los CV en Colombia es escasa; se encuentra demasiada información pero a nivel internacional esto se debe a la forma en que hay impedimentos para su recepción en aplicaciones explícitas por el desconocimiento o tal vez a causa de la ausencia de información sobre las propiedades del material real.

En el espacio de la investigación, se evidencia que se deben realizar cambios en las acciones estratégicas que el manejo de VC ofrece un potencial increíble para aplicaciones modernas, por ejemplo, su utilización como un especialista de mantenimiento para los residuos radiactivos, ya que la investigación XPS (Bautista-Ruiz et al., 2017) descubrió que los racimos de aluminato y silicato que se ven reflejadas en estos CV dando una propiedad vital que nos permite evitar la corrosión.

En general se podría decir que, dado el tamaño de grano fino de los totales de cenizas volantes, se pueden utilizar para complementar el cemento Portland como una especie de agregado o aditivo en la mezcla, y en consecuencia hacerla más durable, resistente y con

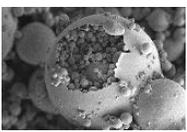


propiedades químicas muy buenas disfrutando igualmente del beneficio de disminuir ampliamente la porosidad del concreto, particularmente en el estado plástico.

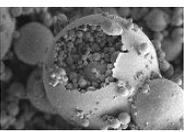


Referencias Bibliográficas

1. Acevedo, H., & Guerra, R. (2005). *“Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana.*
2. Arbelaez, G. (2018). OPTIMIZACION DE LAS PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBON. *XVIII REUNION DEL CONCRETO.*
3. ASTM C150. (2019). *Standard Specification for Portland Cement.*
4. AVELINO ROMUALDO, J. C., & SURICHAQUI HIDALGO, M. A. (2019). *Evaluación de las calizas para el diseño de la planta de calcinación en la concesión Calquiya – Junín - 2018.*
5. Bautista-Ruiz, W. A., Díaz-Lagos, M., & Martínez-Ovalle, S. A. (2017). Caracterización de las cenizas volantes de una planta termoeléctrica para su posible uso como aditivo en la fabricación de cemento. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(1), 135–146. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n1.2017.7374>
6. Bautista, W., Díaz, M., & Martínez, S. (2017). Caracterización de las cenizas volantes de una planta termoeléctrica para su posible uso como aditivo en la fabricación de cemento. *Revista Investig. Desarro. Innov*, 8(1), 135-146.
7. Becosan. (2021). *Cemento Portland.* www.becosan.com
8. Bernal López, S., Gordillo, M., Mejía De Gutiérrez, R., Rodríguez Martínez, E., Delvasto Arjona, S., & Cuero, R. (2009). “Modelamiento de la resistencia a la compresión de concretos alternativos, usando la metodología de superficie de respuesta.” *Revista. Fac. Ing. Univ. Antioquia.*, 112–123.
9. Calco Bolivia. (2015). *DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA.* www.calco-bolivia.com

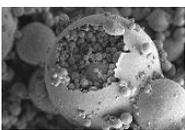


10. Cedex. (2011). *Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias*. 1–41. <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/305.pdf>
11. Chavez, C., & Guerra, Y. (2015). *Producción, propiedades y usos de los residuos de la combustión del carbón de termotasajero*.
12. Chávez, C., & Guerra, Y. (2015). *Producción, propiedades y uso de los residuos de la combustión del carbón de termotasajero*. 130. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9685/ChavezCamilo2015.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
13. *Componentes y propiedades del cemento | Características - IECA*. (2016).
14. Criado Sanz, M. (2007). “*Tesis doctoral: Nuevos materiales cementantes basados en la activación alcalina de cenizas volantes. Caracterización de geles N-A-S-H en función del contenido de sílice soluble. Efecto de Na₂SO₄.*” Universidad Autónoma de Madrid.
15. DÍAZ HERNÁNDEZ, D. Z., & ALIPIO SARMIENTO, J. A. (2020). CONCRETO A BASE DE CENIZAS VOLANTES ACTIVADAS ALCALINAMENTE, MODIFICADO CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE SILICIO Y DIÓXIDO DE TITANIO. *Endocrine*, 9(May), 6. <https://www.slideshare.net/maryamkazemi3/stability-of-colloids%0A>
16. Dodson, V. H. (1990). *Pozzolans and the Pozzolanic Reaction* (M. Concrete Admixtures. Springer, Boston (Ed.)). https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4843-7_7
17. ERLIN, B., & STARK, D. (1990). Petrographic Investigations of concrete and concrete aggregates at the Bureau of Reclamation Editors. In *American Society for*



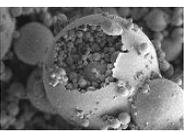
Testing and Materials. Universidad de Philadelphia.

18. Fernández Jiménez, A., & Palomo Sánchez, A. (2003). “*Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements.*”
19. Fonseca Barrera, L. A. (2016). *Empleo de ceniza volante colombiana como material cementicio suplementario y sus efectos sobre la fijación de cloruros en concretos*. 319. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53975/>
20. GARCÍA B, C., & PONCE DE LEON, J. (1978). *La ceniza volante como aditivo en el concreto*. Pontificia Universidad Javeriada.
21. Gómez, J. F. (2012). Aprovechamiento de cenizas de carbón mineral producidas en la industria local como material conglomerante en la construcción. *Universidad de Medellín*, 116.
22. Gomez Perez, J. F. (2011). *Aprovechamiento de cenizas de carbón mineral producidas en la industria local como material conglomerante en la construcción*.
23. Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Rev. Investig. Altoandin.*, 20(2), 225–234.
24. Instituto Colombiano de Normas Tecnicas. (2014). Cemento Portland, Clasificación y Nomenclatura, NTC 30. In *NORMA TECNICA COLOMBIANA* (p. 1).
25. Kurdowski, W. (2014). *Cement and concrete chemistry*.
26. Maldonado Villa, J. (2009). “*Tesis doctoral: Concreto de alto desempeño a partir de una mezcla de escoria siderúrgica activada alcalinamente.*” Universidad del Valle.
27. MARSH, B., Bonner, D. G., & Day, R. L. (1985). “*Pore structure*



characteristics affecting the permeability of cement paste containing fly ash.”

28. MEININGER, R. C. (1982). *Use of fly ash in cement and concrete.*
29. Molina, O. (2008). *LA INFLUENCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PÓRTLAND EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN.* 282.
30. Noma ASTM C-618. (2019). *Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón.*
31. Norma Técnica Colombiana NTC 121. (2014). *Especificación de desempeño para cemento hidráulico.*
32. NTC 121. (2014). *Tipos de cementos y características según NTC 121.*
<https://cetesa.com.co/blog/tipos-de-cementos-y-caracteristicas-segun-ntc-121/>
33. NTC 3493. (2019). CENIZAS VOLANTES Y PUZOLANAS NATURALES, CALCINADAS O CRUDAS, UTILIZADAS COMO ADITIVOS MINERALES EN EL CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND. In *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA.*
34. Ossa M, M., & Jorquera S, H. (1984). “*Cementos con cenizas volantes*” (Mater. Con).
35. OWENS, P. (1979). Fly ash and its usage in concrete. *En Concrete.*
36. Radford, D. W., Grabher, A., & Bridge, J. (2009). “*Inorganic Polymer Matrix Composite Strength Related to Interface Condition,*” (pp. 2216–2227).
37. Ramezani pour, A. (2013). *Cement replacement materials.* New York: Springer.
38. Rocas y minerales. (2016). *Caliza | Características, formación, tipos, usos,*



yacimientos / Roca. <https://www.rocasym minerales.net/caliza/>

39. Sanjuán Barbudo, M. Á., & Chinchón Yepes, S. (2007). *INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.*

40. UNE -EN-197-1. (2019). Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. In *Norma Española.*

41. VALBUENA, H. (2006). *Petrografía de Concretos Hidráulicos con adición de cenizas Volantes de Termopaipa.* Universidad Nacional de Colombia.

42. Valderrama, C., Gutierrez, R., & Agredo, J. (2011). *Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volantes de alto nivel de quemados.* 31(1), 39–46.

43. VARGAS, L., OBREGÓN, J., & JUNCO, A. (1980). “*Cenizas de Termozipa, propiedades y usos en el hormigón.*” Universidad Nacional de Colombia.

44. Zheng, L., Wang, W., & Shi, Y. (2010). “*The effects of alkaline dosage and Si/Al ratio on the immobilization of heavy metals in municipal solid waste incineration fly ash-based geopolymer.*”