BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

APLICACIÓN DE CEMENTOS ALCALINOS PARA LA EDIFICACION DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ING. ARQ. SINUHE GIOVANNI HERNANDEZ AVANTE

Asesor de tesis:

M.I. WOLSTANO VERNET LOPEZ

Puebla, Pue. Diciembre 2018

Oficio No. 1658/2017

C. Sinuhe Giovanni Hernández Avante
Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito Mtro. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Trabajo de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Aplicación de cementos alcalinos para la edificación de viviendas de interés social.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción. Asignándose como Asesor al M.I. Wolstano Vernet López.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Zaragoza, abril 6 de 2017.

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. Wolstano Vernet López, Asesor del Trabajo de Tesis.
C.c.p. Archivo

ABH/WVL/sco*

Facultad de Ingeniería
Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M.I. Fernando D. Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e

El suscrito M.I. Wolstano Vernet López, Asesor del Tema de Tesis denominado: **"Aplicación de cementos alcalinos para la edificación de viviendas de interés social"** que presenta el Ing. **Sinuhe Giovanni Hernández Avante,** egresado de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Construcción de la Facultad de Ingeniería de la B.U.A.P; y autorizada con el oficio No. **1658/2017, De fecha 06 de abril de 2017**, siendo requisito para su defensa en el examen de grado, informo a usted, que después de haber procedido a revisar la Tesis correspondiente, verificando que se han atendido las observaciones y recomendaciones por un servidor, no existe inconveniente alguno de mi parte, en **autorizar la impresión** de la misma, por lo que se extiende la presente para los efectos legales a que haya lugar.

Sin otro particular, quedo de usted.

Puebla, Pue., a 03 de diciembre de 2018.

A T E N T A M E N T E

M.I. Wolstano Vernet López

Ccp. Dr. Alejandro Hernández Bautista. - Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.

Ccp. Archivo.

DEDICATORIA

A DIOS Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A MIS PADRES, Ever y Lety Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A MIS HERMANAS Sarahi, Itzel, Arhemi, que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por compartir su vida, pero, sobre todo, gracias por estar siempre en momentos importantes las amo,

A MI PRINCESA María José, mi sobrina hermosa, por cada sonrisa y abrazos que me regalas.

A MI NIÑA HERMOSA Roció, gracias por formar parte de mi vida, gracias por tu amor, gracias por ser como eres.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Oscar Daniel González Amante que, a través de sus consejos y experiencia profesional, me apoyo con la realización de este proyecto.

A la empresa ELEMNT 5 Química Aplicada, por todo el apoyo para la investigación de este proyecto.

A mi Asesor de tesis M.I. Wolstano Vernet López, por su apoyo incondicional, es un gran ejemplo de seguir preparándome profesionalmente.

A Los Amores de Don Juan, a todo mi equipo de trabajo, residentes, destajistas que fueron pieza importante en el desarrollo de esta investigación que rindió frutos importantes, y que ahora veo hecha realidad todo el esfuerzo que se tuvo

A la familia González Romano, gracias por la confianza, por la paciencia y la oportunidad de demostrar que podemos hacer proyectos de vanguardia y posicionarnos con nuevos productos en las viviendas, gracias y nunca olvidare todo el apoyo y cariño que he recibido de ustedes.

Índice

Introducción ……..…1

Capítulo 1.- Protocolo de investigación

1.1 Planteamiento del problema……....3

1.2 Justificación……..…….3

1.3 Objetivo general ……....4

1.3.1 Objetivos específicos……...…4

1.4 Hipótesis…….5

1.5 Variables ……....6

Capítulo 2.- Marco de Referencia

2.1 Innovación ……..7

2.1.1 Definición de la innovación……7

2.1.2 Importancia de la innovación en el mundo empresarial……..8

2.2 La vivienda de interés social……9

2.2.1 La sostenibilidad de la vivienda de interés social ……10

2.3 Materiales empleados en la construcción de vivienda …… 11

2.3.1 Concreto premezclado para la fabricación de vivienda industrializada……11

2.3.2 Cemento portland como componente principal del concreto ……...13

2.3.3 Emisiones contaminantes asociadas a la fabricación de cemento portland……15

2.4 Cementos alcalinos basados en ceniza volante ……17

2.4.1 Cemento alcalino……..……17

2.4.2 Información sobre el empleo de las cenizas volantes……19

2.4.3 Concretos sostenibles con cementos alcalinos basados en ceniza volante…22

Capítulo 3.- Marco metodológico

3.1 Diseño de la investigación……23

3.1.1 Planteamiento general de pruebas…….……..23

3.1.2 Materiales ……24

3.2 Tipo de investigación…….…….25

3.3 Alcance ……..……25

3.4 Método ……26
3.4.1 Características de los materiales ……..…26
3.4.2 Diseño de Mezcla…….27
3.4.3 Técnicas e Instrumentos ……28
Capítulo 4.- Desarrollo Tecnológico y/o Científico
4.1 Identificación de las variables de control ……31
4.1.1 Variables dependientes ……..31
4.2 Determinación de los criterios de evaluación ……37
4.3 Indicadores ……..38
4.3.1 Revenimiento……..…….38
4.3.2 Temperatura Ambiental……..……39
4.3.3 Temperatura del concreto ……..……39
4.3.4 Contenido de agua real ……...40
4.3.5 Masa Unitaria……...41
4.3.6 Contenido de Aire……42
4.3.7 Resistencia a la Compresión ……43
4.3.8 Resistividad Eléctrica Húmeda y Velocidad de pulso Ultrasónico……44
4.3.9 Penetración al Ión Cloruro……..46
4.3.10 Contracción……48
Capítulo 5.- Análisis y Validación de los resultados
5.1 Características principales de los materiales para el diseño de mezclas ……..50
5.2 Diseño de la mezcla ……51
5.3 Resultados en concreto fresco y concreto endurecido ……52
5.4 Impacto Social ……56
5.5 Impacto Tecnológico ……..57
5.6 impacto tecnológico y/o Productivo……..58
Conclusiones/recomendaciones/ propuesta……..59
Bibliografía……..……..60
Anexos.

Introducción

Debido a la rapidez con que ocurren los avances tecnológicos en nuestros tiempos en donde el intercambio de la información es más accesible, las empresas se ven en la necesidad de innovar en sus procesos productos, estructura organizacional, etc., con el fin de sobrevivir y mantenerse vigentes.

Para el caso específico de la construcción de vivienda industrializada de bajo costo o también denominada de interés social, existe una presión muy fuerte debido a los incrementos constantes de los insumos y el control de precios del costo de la vivienda, que reducen considerablemente los márgenes de las empresas constructoras y más aquellas cuyo sistema está basado en la fabricación de estas viviendas a partir de concreto premezclado y el sistema de molde, que agiliza la construcción de las mismas.

Este trabajo está enfocado en la búsqueda de materiales cementicios alternos, con mejor costo, propiedades mecánicas similares y propiedades de durabilidad mejores a las mezclas de concreto tradicionales elaboradas a partir de cemento portland, el cual representa más del 50% del costo del concreto para la fabricación de las viviendas de interés social.

Existen desde el siglo pasado desarrollos documentados de lo que se denomina cementos alcalinos, que tienen propiedades mecánicas similares y mejor durabilidad con respecto al cemento portland. Adicionalmente muchos de estos cementos alcalinos provienen de residuos de otras industrias, que causan problemas ecológicos importantes al medio ambiente y dichos residuos son sometidos a tratamientos mecánicos y químicos para la generación de los cementos alcalinos.

En este trabajo se estudia todas las propiedades del concreto en estado fresco, estado endurecido, durabilidad e impacto económico de mezclas elaboradas con 100% de cemento portland, 70% de cemento portland más 30% de cemento alcalino, base ceniza volante, 60% de cemento portland más 40% de cemento alcalino y 50 % cemento portland más 50% de cemento alcalino; en mezclas para la fabricación de vivienda industrializada en el Fraccionamiento Los amores de Don Juan Téllez, el municipio de Zempoala perteneciente al Estado de Hidalgo.

Los cementos alcalinos ya se emplean en otras partes del mundo como Australia, España, China, India y países de la antigua Unión Soviética, en donde se gestaron las primeras investigaciones para el desarrollo de estos materiales. En algunos casos y bajo ciertas condiciones específicas, se ha logrado elaborar concretos, con el remplazo del 100% del cemento portland.

En nuestro país existen dos fuentes principales de ceniza volante, producto de la quema del carbón para la generación de energía eléctrica, una de ellas se encuentra ubicada en Petacalco, Guerrero y la otra en Piedras Negras, Coahuila. Lamentablemente la mayor parte de este residuo no es empleado y provoca fuertes problemas de contaminación. En el caso de Petacalco, Guerrero existe una compañía con capital mayoritariamente mexicano que se ha dado a la tarea de utilizar este residuo para el desarrollo de cementos alcalinos, producirlo industrialmente e iniciar su comercialización.

La distribución del cemento alcalino solo es factible para realizar la entra en un radio de 550 km máximo, tomando en cuenta que la planta se encuentra en Petacalco Guerrero. Debido a que fuera de ese radio de distribución el costo de este se eleva considerablemente, perdiendo competitividad absoluta contra las fuentes de cemento portland.

Por último, se hace un análisis técnico económico para este caso en específico y ver su viabilidad económica-técnica para su implementación.

Capítulo 1.- Protocolo de Investigación

1.1 Planteamiento del problema

Determinar y analizar si el reemplazo de porcentaje del cemento portland, entre valores del 30, 40 y 50% por un cemento alcalino, a base de fly ash, es técnica y económicamente viable para su implementación a nivel industrial en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada en la empresa Procesos GESTCA S.A. de C.V.

1.2 Justificación

Debido a la presión en los incrementos de los insumos, particularmente del cemento portland, materia prima principal que constituye más del 50% del costo del concreto premezclado, empleado para la elaboración de vivienda industrializada de interés social, para la empresa Procesos GESTCA S.A de C.V. aunado al control de precios de la vivienda por parte del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT). Da como resultado una reducción significativa en los márgenes de operación.

Con lo anterior se requiere la evaluación fuentes alternas al cemento portland disponibles comercialmente, sin poner en riesgo las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto y lógicamente con una reducción de costos a través del uso de cementos alcalinos, base ceniza volante.

1.3 Objetivos General

Determinar y analizar mediante pruebas mecánicas y de durabilidad si el reemplazo de un porcentaje de cemento portland, por un cemento alcalino a base de fly ash, es técnica y económicamente viable para su implementación a nivel industrial en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada.

1.3.1 Objetivos específicos

1.3.1.1 Determinar y analizar mediante pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad si el reemplazo de porcentaje del cemento portland, en un valor del 30% por un cemento alcalino, a base de fly ash, es técnica y económicamente viable para su implementación a nivel industrial en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada.

1.3.1.2 Determinar y analizar mediante pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad si el reemplazo de porcentaje del cemento portland, en un valor del 40% por un cemento alcalino, a base de fly ash, es técnica y económicamente viable para su implementación a nivel industrial en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada.

1.3.1.3 Determinar y analizar mediante pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad si el reemplazo de porcentaje del cemento portland, en un valor del 50% por un cemento alcalino, a base de fly ash, es técnica y económicamente viable para su implementación a nivel industrial en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada.

1.4 Hipótesis

El reemplazo de un 30% de cemento alcalino por cemento portland, en la elaboración de concreto premezclado para vivienda industrializada es viable técnica y económicamente, determinado a través de pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad.

El reemplazo de un 40% de cemento alcalino por cemento portland, en la elaboración de concreto premezclado para vivienda industrializada es viable técnica y económicamente, determinado a través de pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad.

El reemplazo de un 50% de cemento alcalino por cemento portland, en la elaboración de concreto premezclado para vivienda industrializada es viable técnica y económicamente, determinado a través de pruebas en estado fresco, estado endurecido y de durabilidad.

1.5 Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLES DEPENDIENTES		TIPODE VARIABLE
CARACTERISTICAS DEL CONCRETO	PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO	REVENIMIENTO	NUMERICA
		MASA UNITARIA	NUMERICA
		CONTENIDO DE AIRE	NUMERICA
		TFI , TFF	NUMERICA
	PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	NUMERICA
		CAMBIO DE LONGITUD	NUMERICA
	PRUEBA DE DURABILIDAD	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	NUMERICA
		RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL CONCRETO	NUMERICA
		PENETRACION AL ION CLORURO	NUMERICA
	COSTO	DETERMINACION DEL COSTO DEL M3 DE CONCRETO	NUMERICA

TABLA 1. Variables

Capítulo 2.- Marco de Referencia

2.1 Innovación

2.1.1 Definiciones de la innovación.

Existen enfoques y estudios dominantes sobre la innovación, entre los cuales se pueden destacar tres grandes enfoques en las ciencias sociales: 1) el enfoque schumpeteriano o evolutivo en la ciencia económica, con alguna aportación de la economía aplicada; 2) el enfoque de sistemas de innovación, en una perspectiva amplia de las ciencias sociales, y 3) el construccionismo social del cambio técnico, desde la sociología y otras disciplinas afines como la historia (Pizzi, 2013).

Es a través de la economía evolutiva, entre ellos J. A. Schumpeter, que la innovación realmente se metió en la economía. Aunque no fue el creador del concepto, Schumpeter habla de la destrucción creativa: que consiste en la alteración de las estructuras existentes ineficientes, la novedad y el cambio incesante (Schumpeter, 1928; 1942; 1947). En su opinión, las innovaciones son responsables de este fenómeno. Schumpeter identificó cinco tipos de innovación (Schumpeter, 1912: 66):

1) la introducción de un nuevo producto;
2) la introducción de un nuevo método de producción;
3) la apertura de un nuevo mercado;
4) conquista de una nueva fuente de suministro de materias primas o bienes manufacturados medio-; y
5) la aplicación de una nueva forma de organización.

El manual de OSLO (2005, p. 51), define a la innovación como la introducción de un producto (bien o servicio) o de un proceso, nuevo o significativamente mejorado, o la introducción de un método de comercialización o de organización nuevo aplicado a las prácticas del negocio, a la organización del trabajo o a las relaciones externas".

2.1.2 Importancia de la innovación en el mundo empresarial.

El entorno empresarial es cada vez más dinámico, complejo e impredecible donde la tecnología, la globalización y el cambio de enfoques impacta en el rendimiento general de las organizaciones. Como resultado de esta realidad, el futuro de muchas empresas depende de su capacidad para innovar (Deshati, 2015).

Ante la situación de globalización y en la época en que los avances tecnológicos permiten el intercambio de información se de manera rápida en todos los ámbitos del conocimiento, en la parte de negocios, es mucho más fácil que una ventaja competitiva desarrollada por una empresa sea alcanzada y copiada por otra en un tiempo razonablemente corto. "Cuando las ventajas competitivas no duran, o duran por un tiempo mucho más corto que antes, el libro de jugadas de estrategias tiene que cambiar" (Gunter, 2013). Basta hacer una revisión al pasado y podemos encontrar historias sorprendentes de caídas estrepitantes de grandes corporaciones; por mencionar algunos ejemplos los casos de KODAK, Blackberry Nokia etc. Su caída es un resultado predecible de prácticas que son diseñadas en torno al concepto de ventaja competitiva sostenible. Los ciclos de vida de algunos productos se han reducido o están bajo presión debido a la competencia global más intensa y los avances tecnológicos continuos; las compañías se ven obligadas a innovar más rápidamente y desarrollar productos y servicios con mayor eficiencia (González, 2016).

2.2 La vivienda de interés social

La vivienda se entiende como las partes que integran un sistema y las cuales se componen en un terreno, y por consecuencia con una infraestructura y servicios básicos y equipamiento que les sirve para tener una relación social y comunitaria (Haramoto, 1994:16-22).

La vivienda sirve para cubrir necesidades básicas del ser humano, así mismo esta debe de satisfacer las aspiraciones de confort de los habitantes de una forma armónica, y se debe de tener una interacción entre el habitante y el medio ambiente (Haramoto, 2002:33-47).

La vivienda se debe observar como un área que da seguridad y protección para poder tener una intimidad personal y familiar, esta debe de tener una relación comunitaria, y así tener una liga a costumbres del lugar y a las relaciones sociales, teniendo en cuenta que puede haber normas y reglas, y todo encaminado a satisfacer una necesidad y las aspiraciones de quien la habitara la vivienda. (Rugiero, 2000:67-99).

La vivienda social tiene sus inicios en la revolución industrial, cuando la obra campesina migró a las ciudades por ello se convierte en mano de obra fabril, y por ende los centros urbanos se tornan con una alta concentración de habitantes en condiciones insalubres y de hacinamiento (Rugiero, 2000:67-99).

La vivienda de interés social tiene un sentido de solidaridad, teniendo el objetivo de que tenga principios de equidad y oportunidad para todos, debido a que una necesidad primordial y además un derecho es la de tener una vivienda, al igual que como las necesidades de comer, tener servicios de salud y educación básica. La vivienda social es un proceso que va enfocado a los grupos de menor ingreso y el esfuerzo para mejorar sus condiciones habitacionales. (Haramoto, 2002:33-47).

2.2.1 La sostenibilidad de la vivienda de interés social

El excesivo consumo de recursos en todas las economías para construir, operar y usar, hace que en este siglo surja un problema dentro de la construcción. Y se entiende que así mismo el sector industrial es que tiene mayor consumo de materiales, es por ello que la construcción es la que tiene el 40% de consumo de energía en el mundo.

Al analizar esto es vital poner énfasis al mejoramiento del desempeño ambiental y energético de los edificios si se quiere logra un desarrollo sustentable. La investigación y el desarrollo de proyectos sustentables deben de destacar por tener las mejores soluciones e innovadoras para así tener edificios con fuentes de energías alternativas.

Un edificio inteligente es capaz de reducir dramáticamente la demanda de energía de diseño, incluso hasta llegar a cero. Al realizar una combinación de energía sustentable innovadora con un buen diseño inteligente ayuda a inducir al sector edilicio hacia el desarrollo sustentable.

En materia de leyes internacionales para viviendas sustentables podemos ver que aún es incipiente, sin embargo, en varios países de Europa se están publicando algunas guías de documentos muy prácticos, basada tanto en las actividades de investigación internacionales.

2.3 Materiales empleados en la construcción de vivienda.

2.3.1 Concreto premezclado para la fabricación de vivienda industrializada.

En los últimos años, en países como México, Perú y Chile se ha emprendido un intenso esfuerzo para incrementar la oferta de vivienda de baja altura (uno o dos niveles) y de bajo costo. Cuando se emplea el proceso tradicional de construcción con mampostería, se dificulta llegar a las metas anuales debido principalmente a la escasez de mano de obra y a la lentitud del proceso de construcción. Por tanto, los procesos de construcción industrializada son considerados cada vez más como una opción técnica y económicamente viable. En el caso de la vivienda, actualmente se utiliza la construcción industrializada de viviendas de bajo costo con muros de concreto, como complemento a la construcción de la vivienda tradicional de mampostería (Carrillo, 2012).

Los muros de concreto son delgados, con cuantías de refuerzo bajas y son colados en sitio. Algunas de las ventajas que se obtienen con la construcción industrializada son: la aceleración de la producción de vivienda, la reducción de la mano de obra, el equilibrio en los niveles de calidad de construcción, la construcción sostenible, además de la oferta económica accesible (Sánchez, 2010).

La resistencia a cortante de muros de concreto y los nuevos materiales y técnicas de construcción han posicionado a la vivienda industrializada de concreto como una opción eficiente para proporcionar seguridad ante eventos sísmicos, para incentivar la conservación del medio ambiente y para promover la reducción de los costos de construcción, operación y mantenimiento.

La creciente demanda de viviendas industrializadas ha impulsado el desarrollo de nuevos materiales y técnicas para la construcción de viviendas de bajo costo.

La entrada al mercado de estos nuevos materiales y técnicas es una opción para construir de manera diferente.

Imagen 1. Proceso de edificación de las viviendas y molde utilizado.

Imagen 2. Vista general del fraccionamiento.

2.3.2 Cemento portland como componente principal del concreto.

El cemento portland se define como un material inorgánico finamente dividido, que mezclado con el agua forma una pasta que tiene la capacidad de fraguar y endurecer, a través de una serie de reacciones químicas de hidratación. Una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Su importancia reside en ser el conglomerante principal del concreto, que es el material más empleado en el mundo de la construcción de tipo civil y edificación, esto es debido a la buena accesibilidad de las materias primas, la rentabilidad y las buenas prestaciones que proporciona.

El concreto es un material formado por la mezcla de un conglomerante (generalmente cemento portland), agregados (grava y arena), agua y aditivos. Los agregados constituyen generalmente del 60 al 80% del volumen del concreto, además al ser más baratos que el cemento, disminuyen el costo. De manera general podemos decir que el cemento contribuye en más del 50% del coto total de los materiales que constituyen el concreto en una mezcla tradicional. Al mezclarse con el agua se producen reacciones de hidratación con el cemento portland, que originan la formación de productos cohesivos. Los principales productos son el gel CSH, la portlandita, la etringita, y los monosulfoaluminatos cálcicos hidratados (García 2016).

Existen diferentes tipos de concreto en función de los materiales con los que combina, por ejemplo, una estructura formada por una armadura metálica y un cuerpo de concreto, recibe el nombre de concreto armado. En este el concreto proporciona una gran resistencia a la compresión y la armadura mejora las resistencias a tracción y flexión.

La producción de cemento portland a nivel mundial anual asciende a 4.3 billones de toneladas (CEMBUREAU, 2014), se estima que en 2030 esta cifra aumentará hasta los 5 billones.

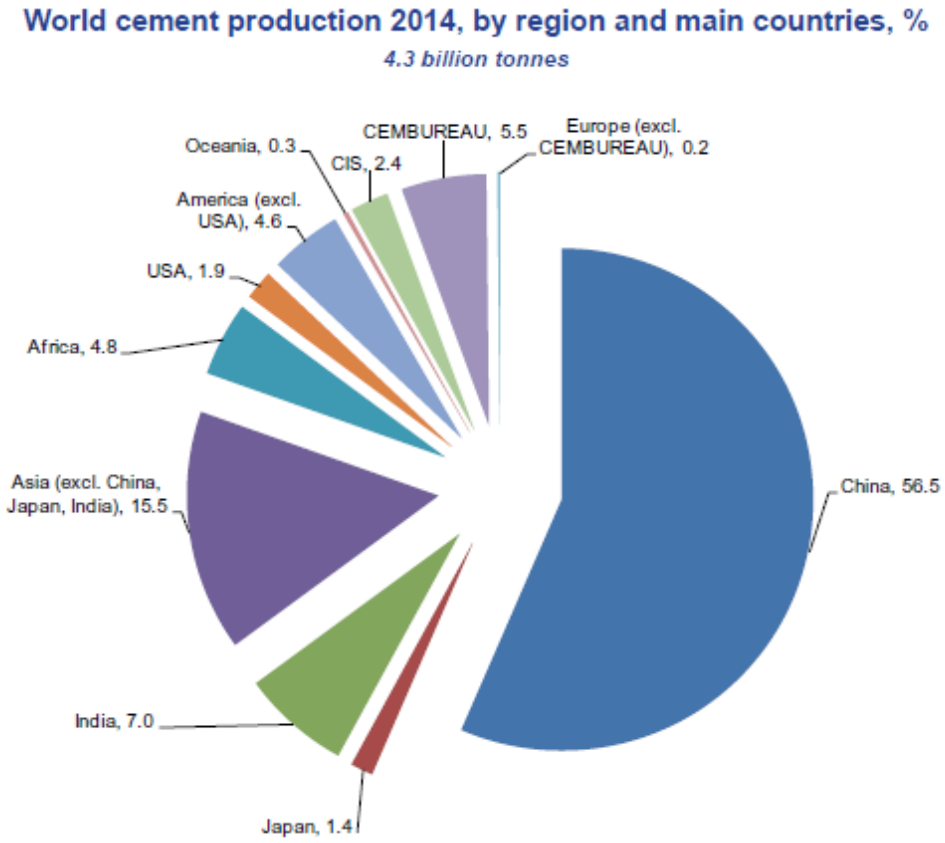


Figura 1. Producción del cemento mundial 2014.

2.3.3 Emisiones contaminantes asociadas a la fabricación de cemento portland.

El calentamiento global es ocasionado por la emisión de gases efecto invernadero y es uno de los grandes problemas de la sociedad. Precisamente, el dióxido de carbono (CO2) es uno de los principales gases que producen el efecto invernadero y la principal fuente de emisión es la actividad industrial que incluye: la generación de energía, la producción de hierro y acero, la fabricación del cemento, la producción de petróleo, gas natural y el respectivo proceso de refinamiento (Bertier, 2012).

La industria cementera ha comenzado a tomar medidas para reducir las emisiones de gases contaminantes, principalmente el CO2; se encuentra reportado que la producción de cemento contribuye aproximadamente entre el 5 al 7% de las emisiones globales totales de CO2. La reducción de las emisiones de este gas permite seguir las directrices del Acuerdo de Copenhage realizado en el año 2009, debido al alto impacto ambiental asociado a la producción del cemento portland que incluye: altas emisiones de gases contaminantes (CO2, SO2 y NOx), alto consumo de energía tanto térmica como eléctrica y explotación de recursos minerales (Puertas, 2006).

Sin embargo, es indudable que el cemento portland (CP) ha sido uno de los más grandes avances tecnológicos del hombre, ya que sin este no hubiera sido posible la reconstrucción y establecimiento de muchas ciudades en el siglo XXI.

La comunidad científica internacional ha investigado sobre el diseño de nuevos cementantes alternativos, que reemplacen el CP, para aportar a la protección del medio ambiente y al mismo tiempo encontrar un material con mayor durabilidad que el cemento portland ordinario y a un menor costo (Pacheco,2008).

El CP tiene problemas de durabilidad relacionados con sus propiedades intrínsecas, como su alta permeabilidad que admite la entrada de agua y otras sustancias agresivas que se absorben en el concreto, ocasionando problemas de carbonatación y corrosión (Gjorv,1994)

Existen varias clases de cementos alternativos o verdes, otro nuevo tipo de cemento alternativo es el híbrido, que utiliza materiales cementantes suplementarios (MCs) para reducir la producción de CO2 proveniente de la reacción de calcinación. Este cemento se forma cuando los MCs son mezclados con el cemento ordinario Portland. Los MCs adicionados son: piedra caliza y compuestos puzolánicos naturales o artificiales y subproductos industriales (Imbabi,2012). Aunque el subproducto más usado es la ceniza volante, porque es relativamente abundante, si es agregada en cantidades muy altas produce inconvenientes, como un lento fraguado y compresión temprana baja (Donatello,2013).

Sin embargo, existe un cemento verde más promisorio que los tratados anteriormente debido a sus propiedades y bajo impacto ambiental, denominado cemento alcalino o geopolimérico. El desarrollo de este material es ambientalmente sostenible, porque utiliza como materia prima subproductos y residuos industriales (escoria siderúrgica de alto horno, ceniza volante de carbón, metacaolín, sílica geotérmica, lodos metalúrgicos), requieren menos consumo de energía que el CP (la obtención de 1 tonelada de concreto geopolimérico es casi 990 MJ, en tanto que la misma cantidad de CP está cercana a 3630 MJ) y las emisiones de dióxido de carbono se reducen significativamente: 1 tonelada de CPO emite aproximadamente 1 tonelada de CO2 a la atmosfera [9], mientras que 1 tonelada de cemento geopolimérico genera la sexta parte (0.184 toneladas de CO2) (Nasvi,2013).

Los países que más han utilizado esta tecnología emergente en proyectos de infraestructura son China y la Unión Soviética (Krivenco,1994). En los últimos años, Australia ha incursionado por los incentivos financieros y políticos al disminuir las emisiones de CO2 (Montes,2014).

2.4 Cementos alcalinos basados en ceniza volante

2.4.1 Cementos alcalinos

La necesidad de alcanzar la sostenibilidad en el proceso de obtención del cemento portland implica la búsqueda de mejora de los procesos actuales (implementación de mejoras tecnológicas y valorización de residuos como sustitutos parciales de los combustibles y materias primas) y el desarrollo de nuevos conglomerantes de elevada eficiencia energética y baja contaminación. Entre estos se encuentran los denominados “cementos alcalinos”, los cuales se obtienen por la mezcla intima de una disolución fuertemente alcalina y un material, que puede ser de origen natural (arcillas) o artificial (básicamente escorias de alto horno y cenizas volantes). Las características y propiedades de estos cementos varían mucho dependiendo del material de partida y de las condiciones de activación (Puertas, 2007). Una posible clasificación de los cementos alcalinos se presenta en la Figura 2.

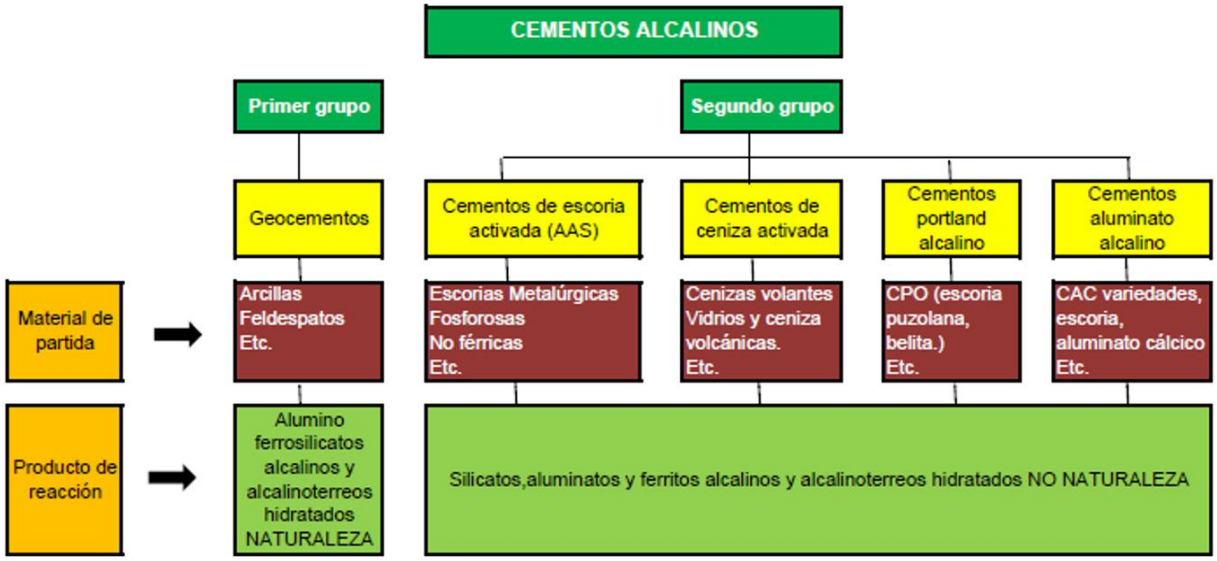


Figura 2. Clasificación de cementos alcalinos (Puertas, 2007)

El principio en el que se basa la activación alcalina de escorias fue propuesto por Purdon en 1949, pero fue en los años 60 cuando Glukhovsky et al desarrollaron en la Universidad de Kiev los primeros cementos y morteros de escorias activadas alcalinamente. A partir de los años 90 el interés por los cementos activados alcalinamente fue creciendo en la Europa occidental y en otros países como China, India, Japón, USA. Desde entonces, esta temática ha sido estudiada con renovada intensidad por una buena parte de la comunidad científica internacional con el objetivo de desarrollar una nueva generación de materiales cementantes.

2.4.2 Información sobre el empleo de las cenizas volantes

El carbón es y seguirá siendo, al menos durante los próximos 50 años, el principal combustible para la generación de electricidad en el mundo. En el 2010, el 40.1% de toda la electricidad a nivel mundial fue generada en centrales térmicas que emplean el carbón como combustible. La Energy Information Agency (EIA) ha proyectado para el 2040 que el 35.6% de toda la generación de electricidad en el mundo tendrá al carbón como protagonista, superando a las fuentes de energía renovables (24.6%) y al gas natural (24.1%). De hecho, las principales economías del mundo encuentran en el carbón su principal fuente de energía. China, por ejemplo, obtiene del carbón el 77.8% de la electricidad generada en el país; y en India se alcanza el 68%; y en Alemania el 45.8%; y en Estados Unidos el 39.3%.

Una de las conclusiones inmediatas que se puede extraer de esta simple pero contundente información es que la sociedad moderna actual (sociedad global) debe, inexorablemente, aprender a gestionar con eficacia cualquier posible "inconveniente" que pudiera asociarse al consumo de combustibles fósiles. En este sentido, las cenizas que se producen en las centrales térmicas que consumen carbón (más de mil millones de toneladas de ceniza al año en el planeta) y que mayoritariamente se depositan en vertederos, no han de ser consideradas como un irresoluble problema económico, social y ambiental; las cenizas de hecho pueden aportar soluciones inteligentes a diversos sectores industriales necesitados de respuestas tecnológicas urgentes para avanzar en la tarea de la innovación y presionados por los grandes retos que actualmente plantea el respecto al medio ambiente (la sostenibilidad), y naturalmente también por la necesidad de involucrarse en los conceptos que conforman la llamada economía circular.
El proyecto de edificación de viviendas con el uso de cementos alcalinos a base de ceniza volante se orienta en esta dirección y propone una solución innovadora para dotar de un gran valor añadido a esos millones de toneladas de cenizas procedentes de la combustión del carbón que cada año se desperdician, se despilfarran y se acumulan en vertederos, por no hallar un uso para las mismas.

Los cementos alcalinos a base de fly ash tiene, es la consecuencia de procesar química y mecánicamente, de forma simultánea, a las cenizas que se generan en las centrales térmicas que emplean carbón como combustible. Una vez sometidas las cenizas a dicho proceso de transformación, este residuo industrial (muy abundante en el mundo) adquiere unas excepcionales características de reactividad que las conviertan en materiales cementantes de primer nivel y por ende en un excelente candidato a sustituir al cemento Portland en las mezclas de concreto, en cantidades que oscilan entre el 35% y el 75% , sin afectar negativamente al desarrollo mecánico de los concretos y sin afectar negativamente a ninguna de las propiedades tecnológicas de interés (trabajabilidad, fraguados, durabilidad, etc.). Al contrario, las propiedades tecnológicas de estos productos han demostrado inferir a los concretos a los que se incorpora son siempre extraordinariamente positivas; sin olvidar que el empleo de dicho producto contribuirá a la consolidación de la idea de economía circular y generará una importante reducción en las emisiones globales de CO2. Y lo más importante, supondrá un beneficio económico considerable para todos.

En definitiva, las soluciones que aportan los cementos alcalinos a base de ceniza volante, encuentran su aplicación inmediata en el mercado del concreto premezclado (con aplicación en la obra civil) y en el concreto para los elementos prefabricados (Palomo,2017).

Al día de hoy el enorme volumen (en cantidad y calidad) de investigaciones científicas y tecnológicas desarrolladas por la comunidad internacional (80 años de investigaciones) ha revelado y ha puesto de manifiesto que las cenizas volantes poseen una enorme versatilidad de uso y generan muchos beneficios tecnológicos (Palomo,2017). Pero posiblemente lo más importante sobre las aplicaciones de las cenizas volantes en el sector de la construcción está todavía por descubrir; y es que no se puede olvidar que la ceniza volante es un material nano-estructuralmente complejo que suele incorporar en su armazón composicional una gran variedad de

elementos químicos y de fases minerales. De hecho, la mayoría de las partículas de ceniza volante poseen un esqueleto vítreo lo que otorga a dichas partículas unas excelentes propiedades de reactividad química. Y por si esto fuera poco el tamaño de las partículas de ceniza (entre 1 micra y 100 micras de diámetro) y la forma de estas (esferas huecas) estimulan de forma importante sus ya excelentes características reactivas.

2.4.3 Concretos Sostenibles con cementos alcalinos basados en ceniza volante

En este contexto el proyecto de elaborar concretos con cementos alcalinos basados en ceniza volante, desde su nacimiento se propuso canalizar el conocimiento existente (conocimiento global) en torno a las cenizas hacia el diseño de una nueva generación de concretos, tecnológicamente válidos para cualquier aplicación, sostenibles en lo ambiental, durables y económicamente rentables. En otras palabras y de forma resumida, se puede afirmar que el material cementante que se propone como complemento masivo del cemento portland para elaborar esta nueva generación de concretos sostenibles es un material (cemento alcalino a base de ceniza volante) que se obtiene por medio de un procesado físico – químico de cenizas volantes (ver Fig. 2).

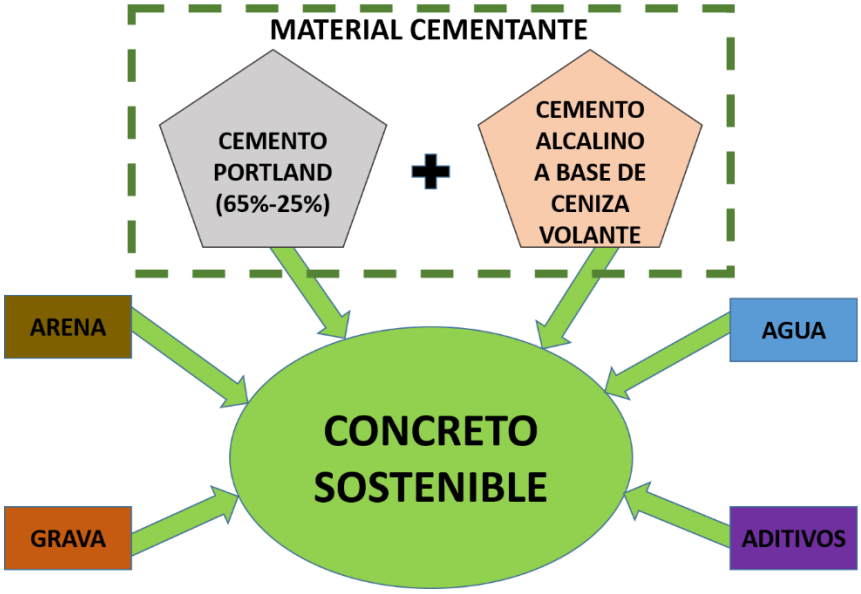


Figura 3.- Elementos que componen el concreto sostenible

CAPÍTULO 3.- MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

3.1.1 Planteamiento general de pruebas.

Se tomarán como referencia el diseño de mezcla de concreto premezclado empleado para la fabricación del concreto con resistencia mecánica a la compresión de f´c 250 kg/cm2, empleado para el colado de muros y losas en la vivienda industrializada de interés social.

La mezcla patrón se elaborará con el 100% de cemento portland y sus propiedades de concreto en estado plástico, en estado endurecido y pruebas de durabilidad, se comparan contra mezclas con sustituciones del 30, 40 y 50% del cemento portland, por un producto comercialmente disponible en el mercado mexicano (cemento alcalino basado en fly ash) producido por la compañía Aditivos Cementantes SAPI.

Imagen 3. Proceso de colado.

3.1.2 Materiales

Los materiales empleados para la elaboración de las pruebas son:

Cementantes:

- Cemento CPC 40, cumple NMX-C-414-ONNCCE-2014 (Anexo 1)
- Cemento alcalino basado en ceniza volante (Anexo 2)

Agregados:

- Agregado grueso tipo andesitico TMA 19 mm. (Anexo 3)
- Agregado fino tipo andesitico TMA 4mm. (Anexo 4)

Aditivos:

- Aditivo 1, Reductor de agua, cumple con ASTM-C494 tipo A (Anexo 5)
- Aditivo 2, Reductor de agua de alto rango, cumple ASTM-C494 tipo F (Anexo 6)

Fibra:

- Fibra de polipropileno, bolsa de 600 gramos (Anexo 7)

Agua:

- Agua Potable, cumple con NMX-C-122-ONNCCE-2004

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es de carácter experimental.

3.3 Alcance

Toda la batería de pruebas está diseñada para los materiales que se emplean en la fabricación de concreto premezclado para vivienda industrializada en el desarrollo habitacional Los amores de Don Juan Téllez, municipio de Zempoala, Estado de Hidalgo. Con el que actualmente se elaboran concretos de resistencia mecánica a la compresión de f´c 250 kg/cm2, empleado para muros y losas de casas de interés social coladas en sitio con cimbra de molde.

3.4 Método

3.4.1 Características de los materiales

En la tabla 3 se presentan las características principales de los materiales para el diseño de mezcla.

Material	Descripción	Proveedor	Peso especifico	Absorción
Cemento	CPC 40	Cruz Azul	2.95	NA
Grava ¾”	andesitica	Santa Catarina	2.49	3.25
Arena 0-5 mm	andesitica	Santa Catarina	2.44	6.51
Cemento alcalino	Cemento alcalino	G ULTRA	2.20	NA
Aditivo 1	Aditivo reductor de agua	Element5		NA
Aditivo 2	Aditivo reductor de agua alto rango	Element5		NA
Fibra	Fibra de polipropileno	Element5		NA

Tabla 2. Características de los materiales.

3.4.2 Diseños de mezcla

La tabla 4 muestra los diseños de mezcla empleados en las pruebas comparativas para los dos niveles de resistencia evaluadas. Cabe señalar, que el uso de GUltra fue empleado con el 30%, 40% y 50% de sustitución del cemento.

Material	Unidades	Mezcla 1	Mezcla 2 sustitución del 30%	Mezcla 3 sustitución del 40%	Mezcla 4 sustitución del 50%
Cemento	kg/m^3	300	210	180	150
GULTRA	kg/m^3	0	90	120	150
Grava ¾”	kg/m^3	685	723	761	781
Arena 0-4 mm	kg/m^3	986	958	931	917
Agua	l/m^3	193	183	173	168
Aditivo 1	l/m^3	1.20	1.20	1.20	1.20
Aditivo 2	l/m^3	3.60	3.60	3.60	3.60
Fibra	kg/m^3	0,6	0,6	0,6	0,6

Tabla 3. Diseño de mezclas de concreto en estado SSS f´c=250kgf/cm²

3.4.3 Técnicas e Instrumentos

Para esta investigación a las muestras se les determinara lo siguiente:

Determinaciones	Unidades
Revenimiento inicial	cm
Masa Unitaria	kg/m^3
Rendimiento	l/m^3
Contenido de aire	%
Resistencia a 3 días	kg/cm^2
Resistencia a 7 días	kg/cm^2
Resistencia a 28 días	kg/cm^2
Cambio de longitud a 28 días	%
Cambio de longitud a 35 días	%
Cambio de longitud a 56 días	%
Resistividad eléctrica húmeda a 7 días	KΩ-cm
Resistividad eléctrica húmeda a 28 días	KΩ-cm
Resistividad eléctrica húmeda a 35 días	KΩ-cm
Resistividad eléctrica húmeda a 46 días	KΩ-cm
Resistividad eléctrica húmeda a 56 días	KΩ-cm
Velocidad de pulso ultrasónico a 7 días	Km/s
Velocidad de pulso ultrasónico a 28 días	Km/s
Velocidad de pulso ultrasónico a 35 días	Km/s
Velocidad de pulso ultrasónico a 46 días	Km/s
Velocidad de pulso ultrasónico a 56 días	Km/s
Penetración al ion cloruro a 56 días	Coulomb

Tabla 4. Determinaciones en el concreto, en estado fresco, endurecido y pruebas de durabilidad.

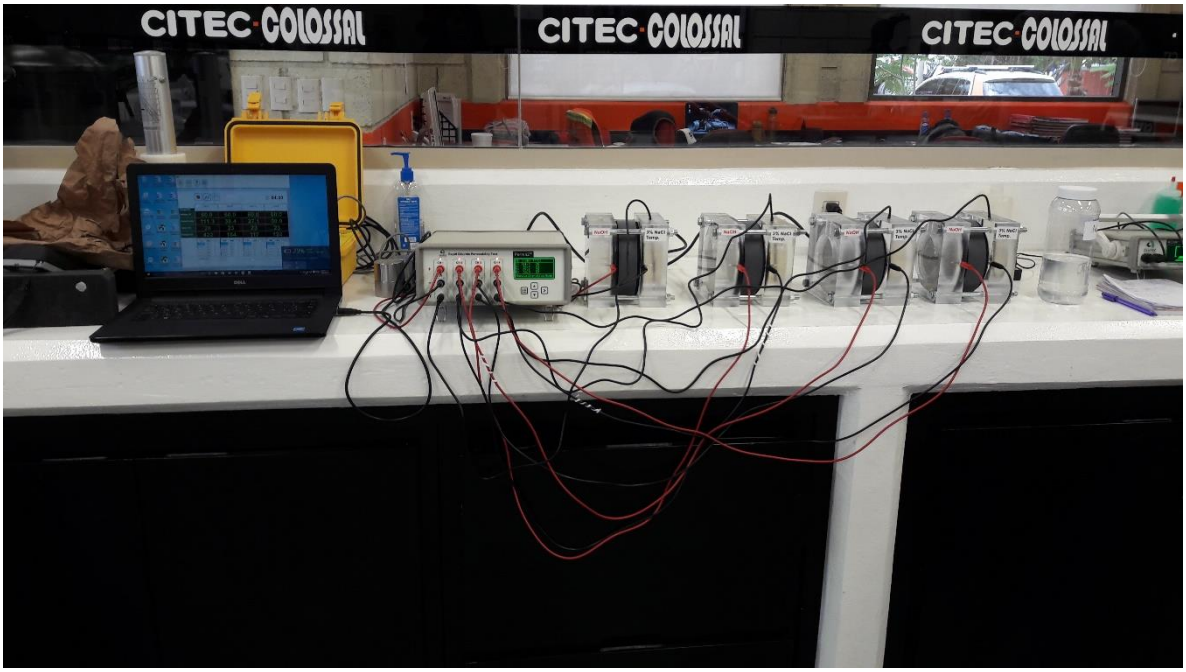


Imagen 4. Prueba de permeabilidad rápida del ión cloruro con cuatro celdas.

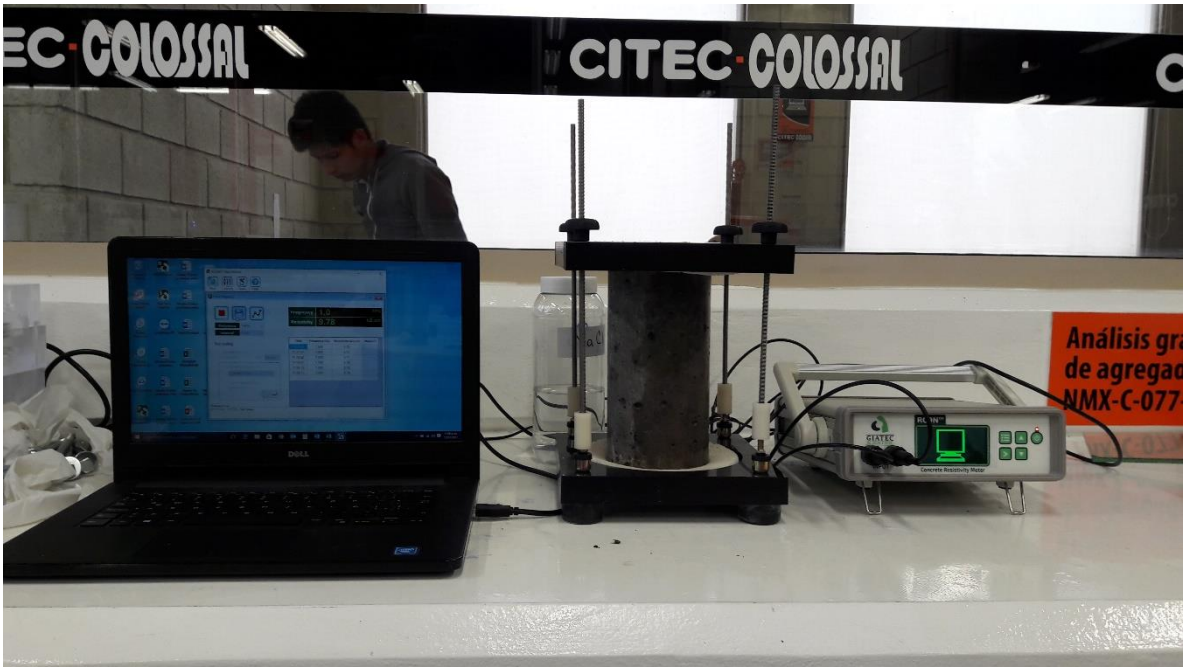


Imagen 5. Prueba de resistividad eléctrica húmeda.

Imagen 6. Prueba Velocidad de Pulso Ultrasónico.

CAPÍTULO 4.- DESARROLLO TECNOLÓGICO Y/O CIENTÍFICO

4.1 Identificación de las variables de control

4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Revenimiento

Es una medida de la consistencia del concreto fresco.

Masa unitaria de concreto normal

Es la masa por unidad de volumen. El concreto debe cumplir con masa unitaria comprendida de 1,900 kg/m3 hasta 2,400 kg/m3.

Contenido de aire del concreto fresco

Es el volumen de vacíos en la pasta de concreto fresco excluyendo el espacio de los poros en las partículas del agregado, usualmente expresado como un porcentaje del volumen total de la mezcla de concreto.

Tiempo de fraguado inicial (límite de manejabilidad)

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento del contacto inicial del cemento con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 3 431,3 kPa (35 kg/cm2).

Tiempo de fraguado final

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento que el cemento entra en contacto con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 27 451 kPa (280,7 kg/cm2)

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia a la compresión

Es la capacidad de carga por unidad de área del concreto hidráulico, medida en ensayes de especímenes elaborados, curados y ensayados en las condiciones estándar especificadas, generalmente expresadas en MPa (kgf/cm2).

Resistencia especificada a la compresión, f'c

Es la resistencia especificada en el diseño estructural.

Variación de la longitud

Es un aumento o disminución en la longitud en un espécimen que ha sido sometido a cambios de humedad o temperatura, sin estar sometido a fuerzas exteriores.

PRUEBAS DE DURABILIDAD

Las pruebas para determinar la durabilidad del concreto nos indican el periodo de vida real que se tendrá de una estructura antes de presentar patologías en secciones de esta, que necesiten ser reparadas o sustituidas, como la corrosión.

Existen muchos factores que juegan un papel importante en el diseño de concretos durables, entre los cuales podemos mencionar: materiales empleados (tipo de cemento, agregados, aditivos, adiciones, etc.), diseño de mezcla empleado (relación agua/material ligante, % de materiales con actividad puzolanica etc.), condiciones de exposición, condiciones de colocación, curado y protección del concreto, etc.

En los ambientes marinos, la penetración de los iones cloruro a través de la cubierta de concreto a los refuerzos de acero, dan lugar a la corrosión del mismo; provocando un problema importante de las estructuras [1, 2].

Varias investigaciones han demostrado la excelente durabilidad de otros materiales aglutinantes como la ceniza activada (Alkali Activated Fly Ash), en una variedad de condiciones agresivas [3 - 5]. También se ha descrito que los aglutinantes AAFA presentan un notable aumento de la resistencia en condiciones de carbonatación durante 7 días [4] y las condiciones expuestas a la solución [H2S] [O4] durante 3 meses [5]. La resistencia al sulfato, al agua de mar y al ácido de los aglutinantes AAFA se atribuye en parte a su baja permeabilidad. Dependiendo de las composiciones de mezcla de AAFA. Su porosimetría y análisis microestructural mostró que el aglutinante AAFA tenía tamaños de poro más pequeños y un área de superficie de poro mucho mayor que las pastas de cemento con una porosidad similar [6].

En los concretos diseñados por durabilidad, las resistencias mecánicas no dejan de ser importantes, sin embargo, con base en los criterios de diseños de mezcla por durabilidad, las resistencias mecánicas se dan de manera tacita.

Existen pruebas que nos pueden dar parámetros de durabilidad del concreto como pueden ser:

-Resistividad eléctrica.

-Penetración rápida al ion cloruro.

-Velocidad de pulso ultrasónico.

Resistividad Eléctrica

Es una propiedad eléctrica de los materiales que mide la capacidad del material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica, y corresponde al reciproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Resistencia eléctrica del concreto

Resistividad Eléctrica

Es una propiedad eléctrica de los materiales que mide la capacidad del material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica, y corresponde al reciproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Resistencia eléctrica del concreto

Es la relación entre la diferencia de potencial (E) entre electrodos y la intensidad de corriente (I) que circula por el interior del espécimen o elemento de concreto.

Resistividad eléctrica del concreto.

Es el reciproco de la conductividad y se obtiene de la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente circulante referida a una geometría normalizada (cubo de 1 m por lado). Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del concreto y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa. En función del estado de saturación de la muestra a analizar se puede obtener dos tipos de resistividad: la resistividad aparente y la resistividad real para las cuales se utiliza el mismo procedimiento de medición.

Resistividad eléctrica aparente

Es la resistividad medida sobre el concreto no saturado con agua.

Resistividad eléctrica real.

Es la resistividad medida sobre el concreto saturado con agua.

Penetración al ion cloruro

Este método de prueba consiste en controlar la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de cortes de 50 mm de espesor de núcleos o cilindros de diámetro nominal de 100 mm durante un período de 6 horas. Una diferencia de potencial de 60 V dc se mantiene a través de los extremos de la muestra, uno de los cuales se sumerge en una solución de cloruro de sodio, el otro en una solución de hidróxido de sodio. La carga total pasada, en coulombs, ha sido encontrada y está relacionado con la resistencia de la muestra a la penetración de iones de cloruro.

Penetrabilidad de iones cloruro	
Carga Pasada (Coulombs)	Penetrabilidad De Iones De Cloruro
> 4,000	**Muy alto**
2,000–4,000	**moderado**
1,000–2,000	**Bajo**
100–1,000	**Muy bajo**
<100	**insignificante**

Velocidad de Pulso

Esta es independiente de las dimensiones del espécimen o elemento por ensayar.

Velocidad de pulso “V”

Está relacionada con las propiedades físicas de un sólido por la ecuación:

$$V2=(K)\ E/d$$

Donde:

K es la constante

E es el módulo de elasticidad

d es la densidad

Esta relación es independiente de la frecuencia de las vibraciones.

4.2 Determinación de los criterios de evaluación

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLES DEPENDIENTES		TIPODE VARIABLE
CARACTERISTICAS DEL CONCRETO	PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO	REVENIMIENTO	NUMERICA
		MASA UNITARIA	NUMERICA
		CONTENIDO DE AIRE	NUMERICA
		TFI , TFF	NUMERICA
	PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	NUMERICA
		CAMBIO DE LONGITUD	NUMERICA
	PRUEBA DE DURABILIDAD	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	NUMERICA
		RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL CONCRETO	NUMERICA
		PENETRACION AL ION CLORURO	NUMERICA
	COSTO	DETERMINACION DEL COSTO DEL M3 DE CONCRETO	NUMERICA

Tabla 5. Criterios de evaluación

4.3 Indicadores

A continuación, se enlistan cada una de los resultados de cada uno de los criterios de evaluación.

4.3.1. Revenimiento

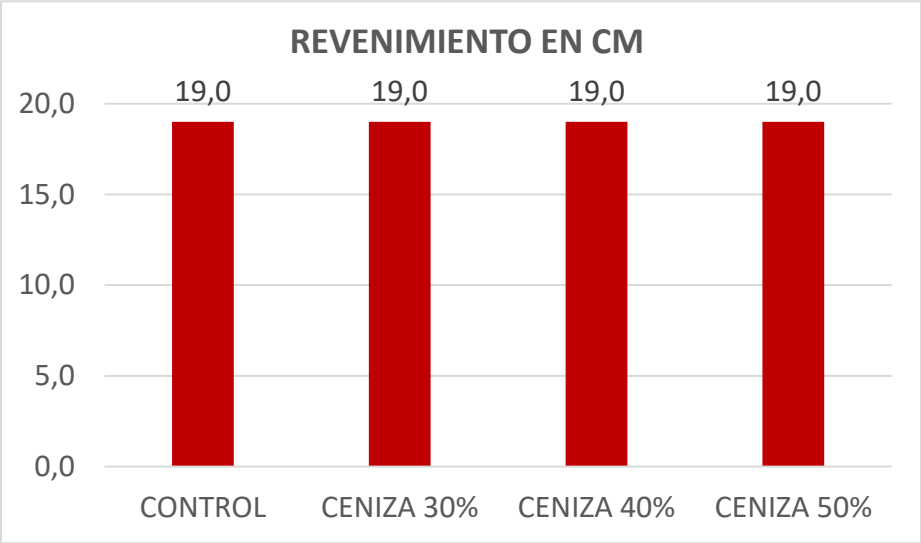


Grafico 1. Revenimiento en cm

Con respecto a la consistencia de las mezclas de concreto, todas se llevaron a un revenimiento inicial de 18 +- 3.5 cm, todas las mezclas cumplen , sin embargo el aspecto de las mezclas que contienen la ceniza activada presentan mejores características de trabajabilidad y bombeabilidad, a mayor porcentaje de sustitución mayor la trabajabilidad de las mezclas , lo anterior también puede deberse a la partícula de la ceniza que es esférica en comparación con las partículas de cemento que son amorfas.

4.3.2. Temperatura Ambiente

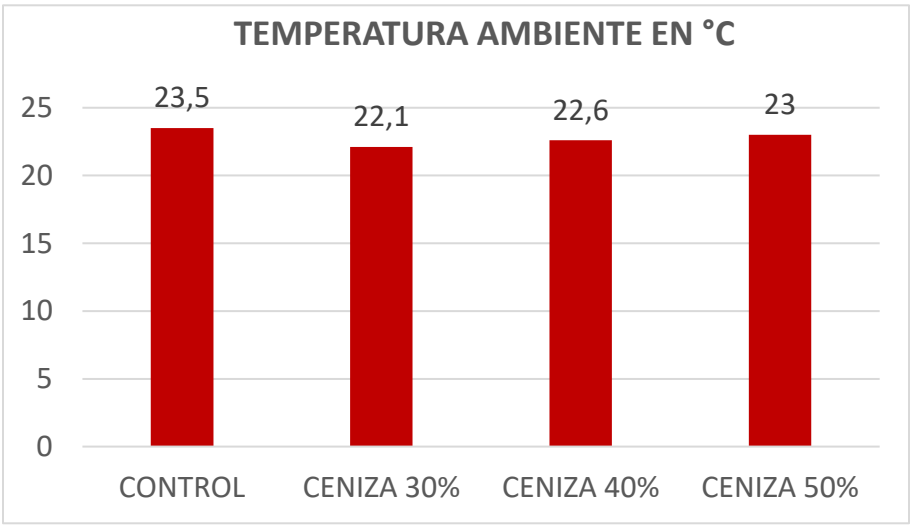


Grafico 2. Temperatura ambiente en °C

La temperatura a las que se realizaron las pruebas de concreto corresponden a la temperatura de 23 +- 2°C por lo que están conforme a lo que indica la norma.

4.3.3. Temperatura del concreto

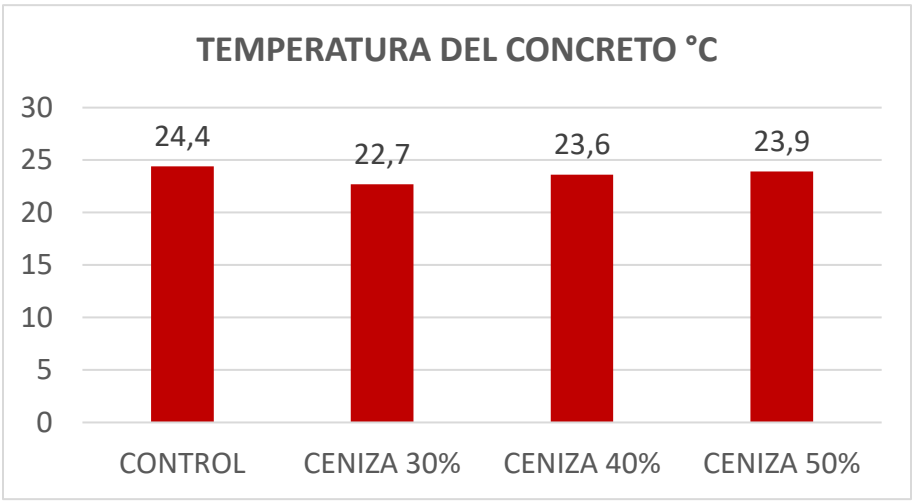


Grafico 3. Temperatura ambiente en °C

La temperatura de las mezclas de concreto que contienen ceniza activada son menores, ya que la ceniza es empleada para disminuir el calor de hidratación lo cual resulta benéfico ya que se disminuye la posibilidad de agrietamientos por choque térmico del elemento provocado por un diferencial de temperatura entre el elemento y la temperatura ambiente.

4.3.4. Contenido de agua real

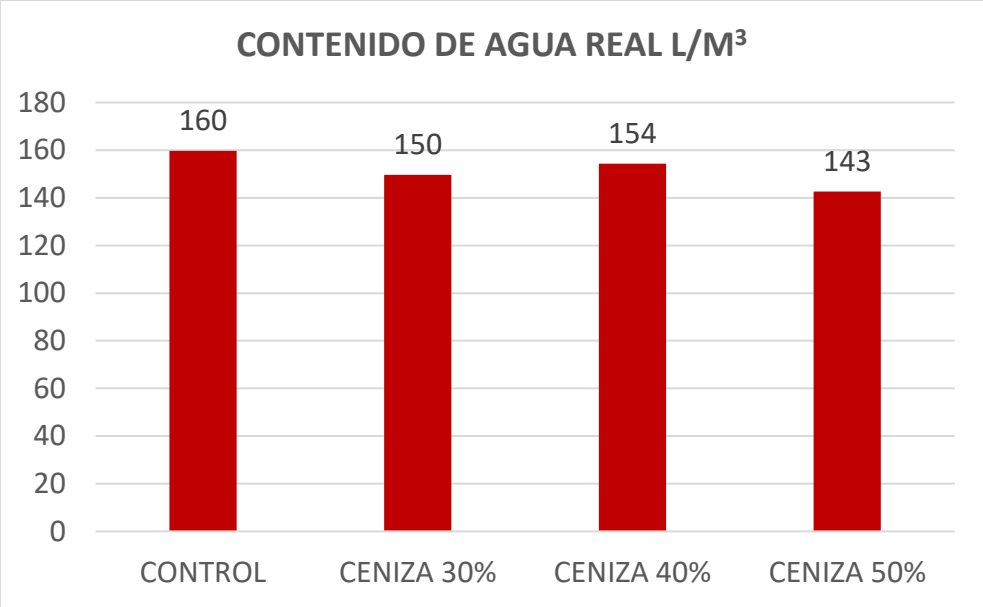


Grafico 4. Contenido de agua real/m³

Los contenidos de agua de las mezclas que contienen ceniza activada son menores, según información del fabricante la ceniza incluye dentro de su formulación un reductor de agua para promover la reducción de la relación agua/material ligante y de esta manera evitar diluir los álcalis en el sistema que activan a la ceniza.

4.3.5. Masa unitaria

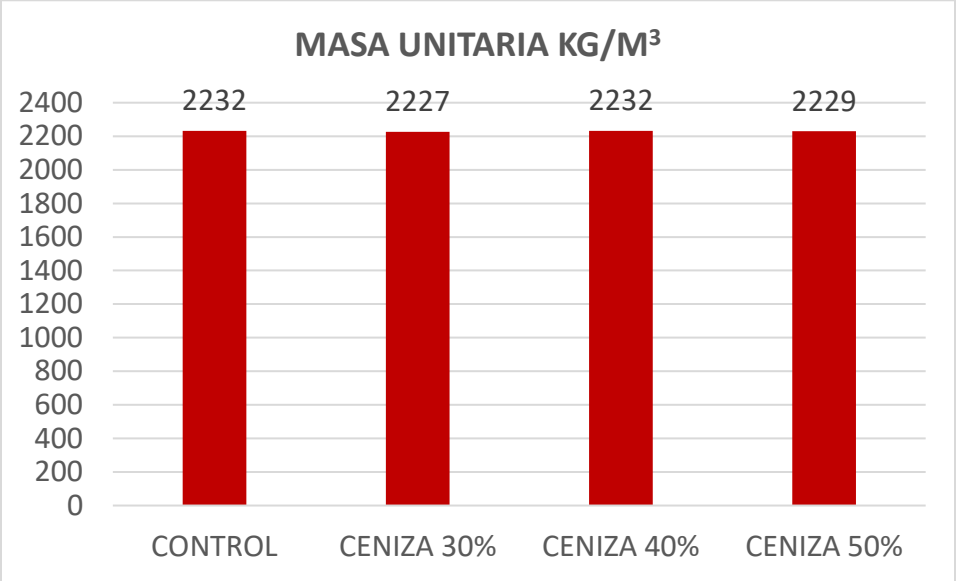


Grafico 5. Masa Unitaria kg/m³

Aunque el peso específico de la ceniza es menor en comparación con el peso del cemento (ceniza activada 2,2 y cemento portland 2.95), teóricamente podríamos esperar que las mezclas con mayor contenido de ceniza nos darían mezclas con menor masa unitaria, sin embargo, en las mezclas no se aprecia una diferencia considerable entre las 4 pruebas,

4.3.6. Contenido de aire

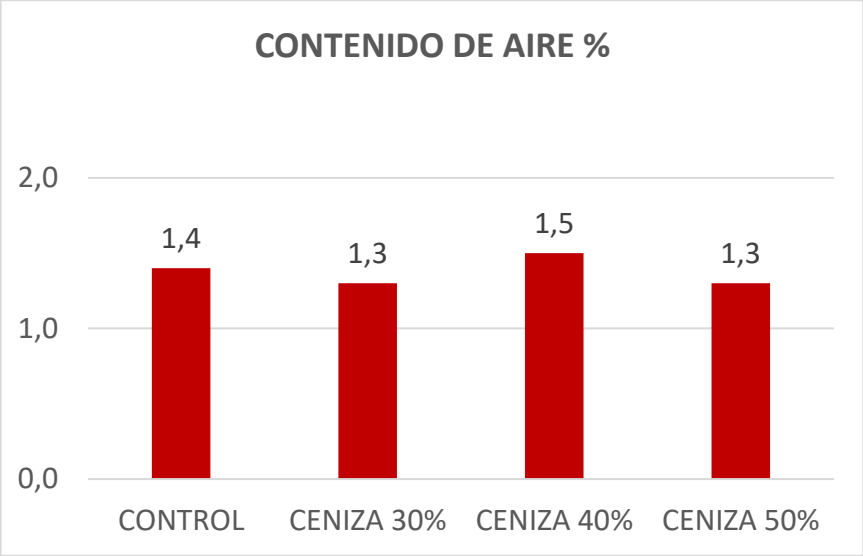


Grafico 6. Contenido de aire %

El contenido de aire de las mezclas está por debajo del 3% que es lo recomendable como máximo por la norma NMX-C-155, por lo que el uso de la ceniza activada no modifica los contenidos de aire.

4.3.7. Resistencia a la compresión.

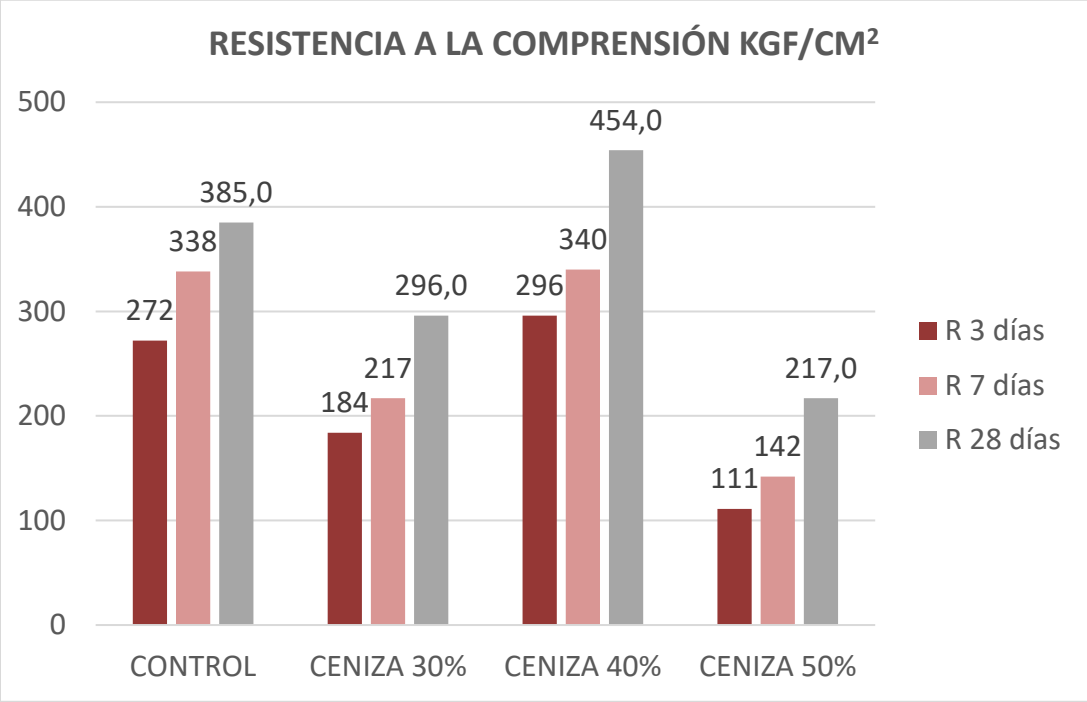
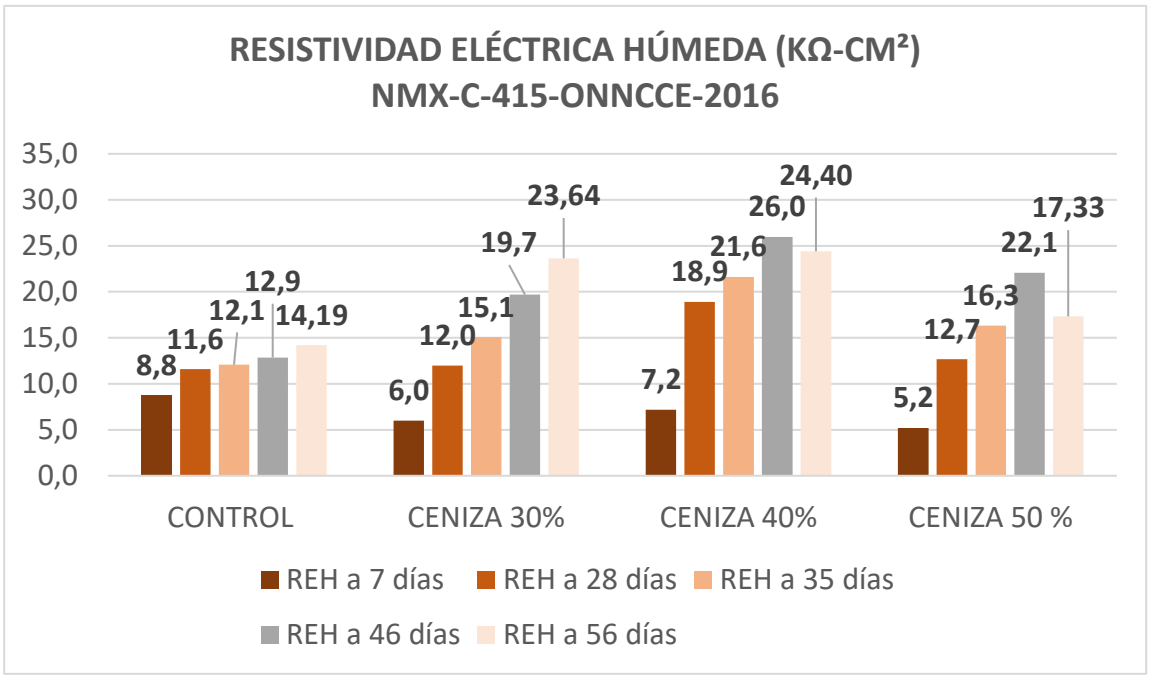


Grafico 7. Resistencia a la compresión kgf/cm²

La especificación por parte de la constructora es una f´c=250 kgf/cm², las mezclas de control, la del 30 y 40 % de sustitución del cemento cumplen ampliamente con la resistencia mínima requerida, para el caso de la sustitución del 50% no se cumple por lo que queda descartada , ya que el aspecto estructural es el de mayor importancia.

4.3.8. Resistividad eléctrica húmeda y velocidad de pulso ultrasónico



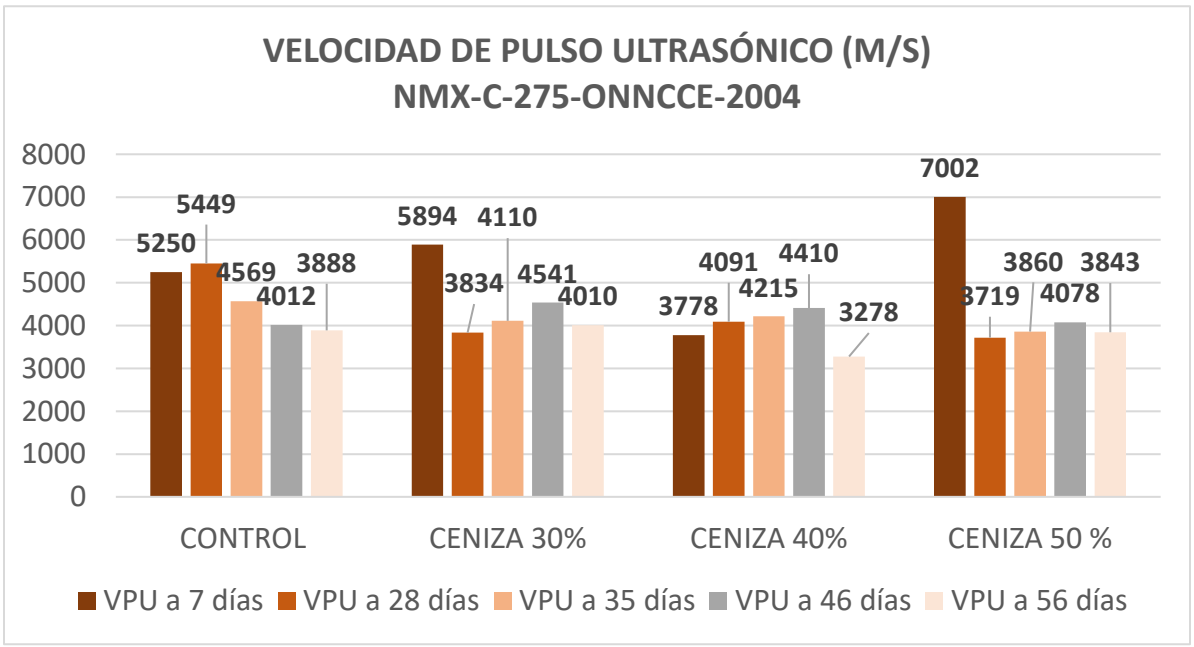


Grafico 8. Resistividad eléctrica húmeda en kΩ-cm² y velocidad de pulso ultrasónico m/s

Sobre los resultados de las pruebas de durabilidad, REH y VPU, el concreto control presenta valores más altos a 7 días, por el tiempo de reacción de la ceniza mientras que a 28 días en la prueba de REH se ven resultados superiores en las mezclas con adición de ceniza que en los obtenidos por el control, sobre todo en la mezcla con una sustitución de ceniza del 30% y del 40%, en la prueba de VPU no se observa incremento en las velocidades, debido tal vez a la fibra de polipropileno que se incluyó en la mezcla. Los valores dispersos que se observan en las diferentes edades podría ser debido al polipropileno, sin embargo, ya a 46 días se observa que las mezclas con sustitución de ceniza tienen una mayor velocidad de pulso, los valores de REH has sido más constantes, siendo los valores a 46 días de las mezclas con adición de ceniza superiores a la mezcla control en un 157% a un 201%. La mezcla que contienen ceniza activada presentan mejores resultados de durabilidad, es decir hacen a las mezclas más durables.

4.3.9. Penetración al ión cloruro

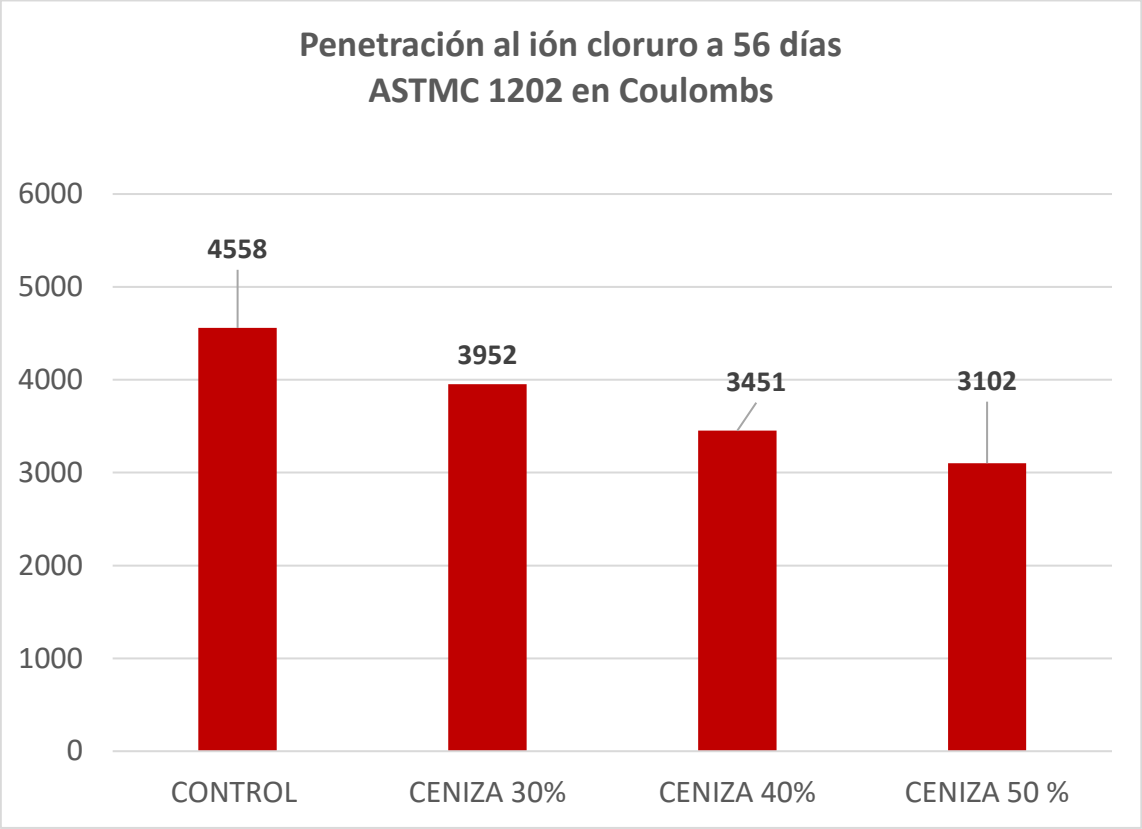


Grafico 9. Penetración al ion cloruro en coulombs

Los resultados de penetración rápida al ión cloruro indican que la permeabilidad es muy alta para el caso de la mezcla elaborada 100% con cemento portland, esto habla de una interconexión de poros en el matriz cementante que puede permitir el ingreso de materiales que pueden afectar o dañar el matriz cementante e incluso promover la corrosión del acero, lo cual va en decremento de la durabilidad de la mezcla de concreto empleado.

Con el uso de GULTRA vemos que se mejoran a un rango de penetrabilidad moderado para los tres porcentajes de sustitución, y conforme se aumenta el porcentaje de sustitución mejora el desempeño de las mezclas de concreto desde el punto de vista de durabilidad, lo anterior puede ser debido a la forma esférica de la ceniza activada en comparación con la estructura amorfa que presenta el cemento portland, ya que hay una mejor densidad de empaquetamiento en la matriz cementante con el uso de ceniza activada y se disminuye la conexión entre poros, lo anterior dificulta la penetración de agentes que pueden dañar la matriz cementante.

El mejor resultado es con el 50% de sustitución de ceniza activada por cemento portland, pero recordemos que ésta mezcla no es viable, debido a que no cumplió con la resistencia mecánica mínima especificada. Por lo tanto, el mejor resultado es con el 40% de sustitución.

4.3.10. Contracción

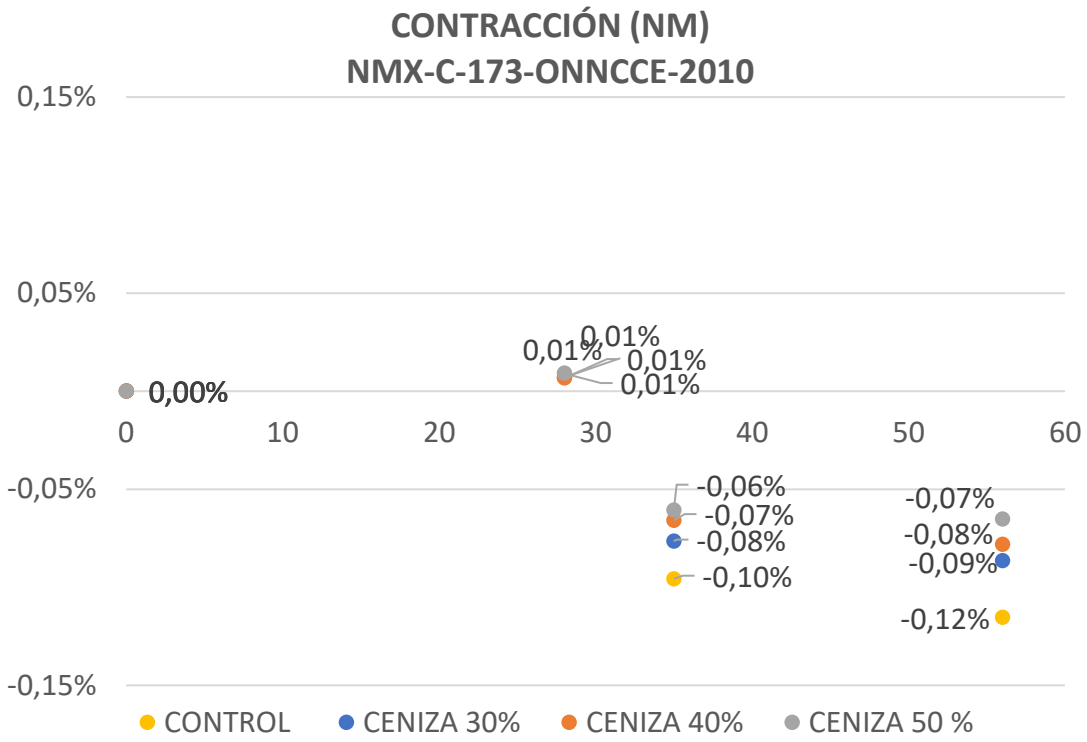


Grafico 10. Contracción nm

Con respecto a la contracción por secado claramente el mejor resultado es con el 50% de sustitución con una reducción con respecto a la mezcla control de 41.66%, sin embargo a pesar de ser el mejor resultado recordemos que no es factible ya que la resistencia mecánica no cumplió , la segunda mejor mezcla es con el 40% con una reducción a 56 días en la contracción de 33% con respecto al testigo y por {ultimo con el 30% de sustitución tenemos una reducción en la contracción del 25% con respecto a la mezcla. Recordemos que entre menor sea el valor de contracción por secado, mejores son las características del concreto.

CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Al utilizar ceniza en el concreto se obtienen concretos económicamente viables y de igual calidad, además de que son concretos ecológicos.

La mezcla se diseñó para concreto f'c 250 kg/cm² normal a 28 días, revenimiento 18 cm, bombeable. La dosificación de aditivo fue una constante, se determinó el desempeño en concreto en estado fresco y endurecido, determinando las siguientes pruebas:

La mezcla se diseñó con un contenido de material cementante cemento de 300 kg/m3, revenimiento de 18 cm, bombeable. Para cada prueba se elaboraron 3 especímenes por prueba a cada edad especificada.

- Revenimiento.
- Contenido de aire.
- Masa unitaria.
- Rendimiento.
- Reducción de agua.
- Compresión a 3, 7 y 28 días.
- Contracción.
- Resistividad Eléctrica Húmeda.
- Velocidad de Pulso Ultrasónico.
- Permeabilidad Rápida de Cloruros.
- Porcentaje total de vacíos.

5.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.

Material	Descripción	Proveedor	Peso especifico	Absorción
Cemento	CPC 40	Cruz Azul	2.95	NA
Grava ¾”	andesitica	Santa Catarina	2.49	3.25
Arena 0-5 mm	andesitica	Santa Catarina	2.44	6.51
Cemento alcalino	Cemento alcalino	G ULTRA	2.20	NA
Aditivo 1	Aditivo reductor de agua	Element5		NA
Aditivo 2	Aditivo reductor de agua alto rango	Element5		NA
Fibra	Fibra de polipropileno	Element5		NA

Tabla 6. Características de los materiales para el diseño de la mezcla

5.2 DISEÑO DE LA MEZCLA

Para la realización de un metro cubico (m3).

MATERIAL	PROCEDENCIA	Estado SSS CONTROL	ESTADO SSS 30% CENIZA	ESTADO SSS 40% CENIZA	ESTADO SSS 50% CENIZA
Cemento (kg/m³)	**CPC40 Moctezuma**	**300**	**210**	**180**	**150**
Ceniza (kg/m³)	**Ceniza Activada G Ultra**	**0**	**90**	**120**	**150**
Grava 05-20 (kg/m³)	**Andesita**	**685**	**723**	**761**	**781**
Arena (kg/m³)	**Andesita**	**986**	**958**	**931**	**917**
Agua (l/m³)	**Potable**	**193**	**183**	**173**	**168**
Aditivo (l/m³)	**e⁵ DRA CW**	**1.2**	**1.2**	**1.2**	**1.2**
Aditivo (l/m³)	**e⁵ SP 2000**	**3.6**	**3.6**	**3.6**	**3.6**
Aditivo (kg/m³)	**e⁵ Fiber 600**	**0.6**	**0.6**	**0.6**	**0.6**

Tabla 7. Diseño de la mezcla para un metro cubico.

5.3 RESULTADOS EN CONCRETO FRESCO Y CONCRETO ENDURECIDO

PRUEBAS	CONTROL	CENIZA 30%	CENIZA 40%	CENIZA 50%
	341 T	**388 T**	**389 T**	**340 T**
Revenimiento (cm)	**19.0**	**19.0**	**19.0**	**19.0**
T Ambiente (°C)	**23.5**	**22.1**	**22.6**	**23**
T Concreto (°C)	**24.4**	**22.7**	**23.6**	**23.9**
Contenido de agua real (l/m³)	**160**	**150**	**154**	**143**
Reducción de agua (%)	**17**	**18**	**11**	**15**
e5 DRACW (l/m³)	**1.2**	**1.2**	**1.2**	**1.2**
e5 SP 2000 (l/m³)	**3.6**	**3.6**	**3.6**	**3.6**
Fibra	**0.6**	**0.6**	**0.6**	**0.6**
Dosificación Final (cc)	**7.0**	**7.0**	**7.0**	**7.0**
Masa unitaria (kg/m³)	**2232**	**2227**	**2232**	**2229**
Contenido de aire (%)	**1.4**	**1.3**	**1.5**	**1.3**
Rendimiento (l/m³)	**957**	**959**	**1009**	**963**
Resistencia a compresión a 3 días (kgf/cm²)	**272**	**184**	**296**	**111**
% f´c respecto al testigo	**100%**	**68%**	**109%**	**41%**
Resistencia a compresión a 7 días (kgf/cm²)	**338**	**217**	**340**	**142**
% respecto al testigo	**100%**	**64%**	**101%**	**42%**
Resistencia a compresión a 28 días (kgf/cm²)	**385**	**296**	**454**	**217**
% respecto al testigo	**154%**	**118%**	**182%**	**87%**

Tabla 8. Resultados de pruebas de concreto.

PRUEBAS	CONTROL	CENIZA 30%	CENIZA 40%	CENIZA 50%
	341 T	**388 T**	**389 T**	**340 T**
Cambio de longitud 28 días (nm)	**0.00078**	**0.00579**	**0.00549**	**0.12065**
Cambio de longitud 35 días (nm)	**0.01336**	**0.01274**	**0.01956**	**0.13422**
Cambio de longitud 56 días (nm)				
Resistividad Eléctrica Húmeda a 7 días (KΩ/cm²)	**8.75**	**5.99**	**7.16**	**5.20**
Resistividad Eléctrica Húmeda a 28 días (KΩ/cm²)	**11.59**	**11.98**	**18.89**	**12.68**
Resistividad Eléctrica Húmeda a 35 días (KΩ/cm²)	**12.08**	**15.07**	**21.62**	**16.32**
Resistividad Eléctrica Húmeda a 46 días (KΩ/cm²)	**12.85**	**19.70**	**25.97**	**22.06**
Resistividad Eléctrica Húmeda a 56 días (KΩ/cm²)	**14.19**	**23.64**	**24.40**	**17.33**
Velocidad de Pulso Ultrasónico a 7 (m/s) días	**5250**	**5894**	**3778**	**7002**
Velocidad de Pulso Ultrasónico a 28 días (m/s)	**5449**	**3834**	**4091**	**3719**
Velocidad de Pulso Ultrasónico a 35 días (m/s)	**4569**	**4110**	**4215**	**3860**
Velocidad de Pulso Ultrasónico a 46 días (m/s)	**4012**	**4541**	**4410**	**4078**
Velocidad de Pulso Ultrasónico a 56 días (m/s)	**3888**	**4010**	**3278**	**3843**
Penetración al ion cloruro a 56 días (C)	**4558**	**3952**	**3451**	**3102**

Tabla 9. Resultados de pruebas de concreto.

Las pruebas en concreto fresco realizadas como fueron revenimiento, masa unitaria, contenido de aire y de tiempo de fraguado en las mezclas mostraron valores similares, entre la mezcla control que está elaborada con 100% de cemento portland y las mezclas con sustituciones de 30, 40 y 50% de ceniza activada. Por lo tanto, no sufre alteración alguna la mezcla de concreto, aunque las mezclas con sustitución presentan mejor aspecto y trabajabilidad, debido a la esfericidad de las partículas de la ceniza activada. Todos los resultados en concreto fresco cumplen con los parámetros establecidos.

Con respecto a las pruebas del concreto endurecido, uno de los principales parámetros a controlar es la resistencia a la compresión a 28 días (f¨c =250 kg f/cm2). La mezcla con el 50% de sustitución no alcanzo la resistencia especificada a 28 días, por lo tanto, no cumple en este parámetro, lo cual nos lleva a la conclusión de que la sustitución máxima de ceniza activada en la mezcla es del 40%.
La contracción por secado se ve reducida por el incremento en el contenido de ceniza, lo cual favorece los resultados, a mayor sustitución de ceniza es mejor el comportamiento del concreto en cuanto a estabilidad volumétrica. La menor contracción se obtiene con el 50% de sustitución sin embrago recordemos que esta última sustitución no cumple con las resistencias mecánicas especificadas, por lo que la sustitución optima seria del 40%.

Sobre los resultados de las pruebas de durabilidad, REH y VPU, el concreto control presenta valores más altos a 7 días, por el tiempo de reacción de la ceniza mientras que a 28 días en la prueba de REH se ven resultados superiores en las mezclas con adición de ceniza que en los obtenidos por el control, sobre todo en la mezcla con una sustitución de ceniza del 30% y del 40%, en la prueba de VPU no se observa incremento en las velocidades, debido tal vez a la fibra de polipropileno que se incluyó en la mezcla.

Los valores dispersos que se observan en las diferentes edades podría ser debido al polipropileno, sin embargo, ya a 46 días se observa que las mezclas con sustitución de ceniza tienen una mayor velocidad de pulso, los valores de REH has sido más constantes, siendo los valores a 46 días de las mezclas con adición de ceniza superiores a la mezcla control en un 157% a un 201%.

5.4 Impacto social

Este estudio tiene por objeto el incorporar materiales a base de desechos en los materiales de construcción, específicamente el tratamiento de las cenizas de carbón que actualmente representan un problema ecológico para las zonas cercanas a las plantas termoeléctricas que funcionan a base de la quema del carbón.

La disposición inadecuada de estos residuos, ha afectado durante años los plantíos de frutas en la zona de Petacalco Guerrero, con pérdidas materiales y económicas. Por lo tanto, el empleo de estos materiales (residuos) utilizados como material cementante abate a los problemas descritos anteriormente.

Imagen 7. Vista de viviendas

5.5 Impacto tecnológico

A pesar de que el estudio de los cementos alcalinos tiene más de 30 años y que con éxito se han podido implementar estas tecnologías en otros países, lamentablemente tenemos un rezago tecnológico como en otros ámbitos en nuestro país. Esta tecnología se ha intentado implementar desde hace más de 2 años en el sector del concreto premezclado, aunque los resultados son satisfactorios, como lo es este caso de la aplicación en vivienda industrializada, lamentablemente esta tecnología se ha enfrentado, a su principal barrera que es el miedo al cambio por parte de muchos constructores; miedo al cambio principalmente porque por casi ya 200 años las construcciones se han elaborado a base de cemento portland. Estudios recientes elaborados por parte del doctor Ángel Palomo, menciona que el principio de la ceniza activada, es muy similar químicamente a los materiales empleados por los romanos hace ya casi 2,000 años y cuyos vestigios siguen en pie, lo cual manifiesta la durabilidad de este tipo de materiales. Recordemos que una de las ventajas de las construcciones a base del cemento portland es la disponibilidad del mismo en cualquier parte de mundo, sin embrago también es sabido, que la durabilidad de las construcciones con cemento portland, es un tema en cuestión desde hace muchos años. Por lo que esta tecnología tiene la ventaja de incrementar la durabilidad de las construcciones actuales.

5.6 Impacto económico y/o productivo

A demás de los dos impactos positivos anteriores se suma un tercero y que para este caso en específico resulta que se tiene un beneficio económico con la implementación de esta tecnología según se muestra la siguiente t7abla comparativa.

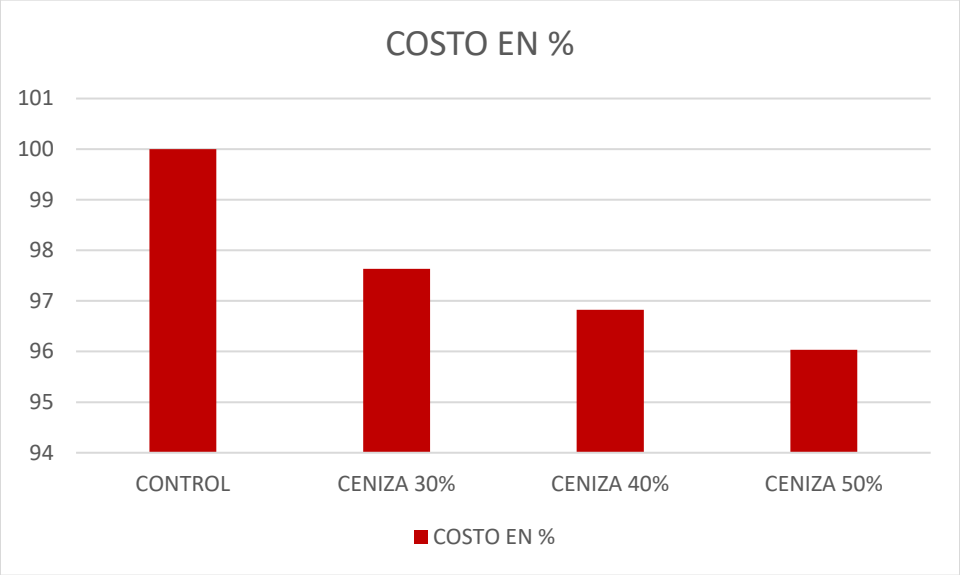


Grafico 11. Comparativa de costos en %

Tomando en cuenta que la muestra control tiene un costo del 100% podemos observar que la diferencia económica tiene un sentido significativo, en comparación con la sustitución de ceniza activada al 30%, 40% y 50%, debido a esto la consideración de realizar la sustitución de ceniza alcalina en una de las opciones más viables en el tema de costo ya que es significativo el costo beneficio que se tiene al tener un porcentaje mayor de ceniza.

Considerando también que en las mezclas que el 30% y el 40% son las que cumplen con las características de resistencia sin ningún problema y tienen una reducción económica en base a la muestra control.

CONCLUSIONES/RECOMENDACIONES/PROPUESTA

Con base en el estudio presente concluimos que el uso de la ceniza activada (cemento alcalino) como sustitución del cemento portland en el 30 y 40 % hace que se tengan beneficios no solo económicos si no también muchos beneficios técnicos desde el punto de vista de poder contar con estructuras más durables que las que se fabrican actualmente, recordemos que el tema de la vivienda industrializada para el sector de vivienda de interés social los costos en materiales se encuentran sacrificados, lo que no da margen de poder integrar, conceptos de durabilidad, para este tipo de edificaciones ya que el incorporarlos bajo un método constructivo de materiales tradicionales sería casi imposible. Este paradigma pierde vigencia ya que los resultados mostrados en este trabajo demuestran absolutamente lo contrario, es decir podemos pensar en materiales de bajo costo para una edificación durable**.**

Para el caso de la Constructora Procesos GESTCA la adaptación de esta tecnología en sus procesos constructivos ha tenido principalmente el beneficio económico al reducir en un 3.4% los costos de los materiales para la edificación para este caso estamos enfocados única y exclusivamente en el concreto, además de los beneficios de durabilidad de las mezclas.

Recordemos que no es fácil que una empresa tenga la apertura de adaptar nuevas tecnologías, ya que el principal freno es el miedo al cambio, afortunadamente los dueños tomaron la decisión de documentarse, evaluar y adoptar esta tecnología dentro de sus procesos.

Sería recomendable extrapolar el uso de estas tecnologías para otro tipo de concretos, que se elaboran actualmente en nuestro país, con el doble beneficio de la durabilidad y el costo.

Bibliografía

A. Farahani, H. Taghaddos, M. Shekarchi, Prediction of long-term chloride diffusion in silica fume concrete in a marine environment, Cem. Concr. Compos. 59(2015) 10-17. [2]

Alkaline Cements: Ecological Building Materials, Fecha de recepción: junio 3 de 2014 Fecha de aceptación: septiembre 29 de 2014

ASTM-C-1202-07 Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones cloruro.

Bertier P; Swennen R; Laenen B; Lagrou D; Dreesen R. (2012). ‘’Experimental identification of CO2–water–rock interactions caused by sequestration of CO2 in Westphalian and Buntsandstein sandstones of the Campine Basin (NE Belgium)’’, Journal of Geochemical, Exploration, vol. 89, n° 1-3, pp. 10-14.

Bruant R; Guswa A; Celia M; Peters C. (2002) ‘’Safe storage of CO2 in deep saline aquifers’’, Environmental science & technology, vol. 36, pp. 240a-245a.

Carrillo J. (2012). Mechanical Properties of Concrete for Low-Cost Housing Departamento de Ingeniería Civil Universidad Militar Nueva Granada, UMNG, Bogotá, Colombia Correo: wjcarrillo@gmail.com Información del artículo: recibido: marzo de 2012, aceptado: julio de 2012

Chindaprasirt P, Rattanasak U, Taebuanhuad S. Resistance to acid and sulfate solutions of microwave-assisted high calcium fly ash geopolymer. Mater Struct 2013;46(3):375-81. [5]

Criado M, Palomo A, Fernandez-Jimenez A. Alkali activation of fly ashes. Part 1: Effect of curing conditions on the carbonation of the reaction products. Fuel 2005;84(16):2048-54. [4]

Deshati, E. (2015). “Business strategies of SME's, innovation types and factors influencing their innovation: Albanian Case”. European Scientific Journal, 11(34), 268

Donatello S; Kuenzel C; Palomo A; Fernández A. (2013). ’’High temperature resistance of a very high volume fly ash cement paste’’, Resources, Conservation and Recycling, vol. 73, pp. 53– 63.

Fernandez-Jimenez A, Garcia-Lodeiro I, Palomo A Durability of alkali-activated fly ash cementitious materials. J Mater Sci 2007;42(9):3055-65. [3]

Garcia I; Donatello S; Fernandez A; Palomo A. (2016).Hydration of Hybrid Alkaline Cement Containing a Very Large Proportion of Fly Ash: A Descriptive Model Cement and Recycling Materials Department, Eduardo Torroja Institute (IETcc-CSIC), Madrid 28033, Spain; shane.donatello@ec.europa.eu (S.D.); anafj@ietcc.csic.es (A.F.-J.); palomo@ietcc.csic.es (Á.P.) * Correspondence: iglodeiro@ietcc.csic.es; Tel.: +34-91-30-20-440 Academic Editor: Arie van Riessen Received: 24 May 2016; Accepted: 18 July 2016; Published: 22 July 2016.

García, R. (2016). “Utilización de residuos vítreos en la preparación de pastas y morteros de cenizas volantes activadas alcalinamente comportamiento reológico y mecánico”. Instituto Eduardo Torroja España.

Gjorv O. (1994). ’’Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment’’, ACI Concrete International.

Glukhovsky, V. Zaitsev, Y.; Pakhomow, V. (1983). Slag-alkaline cements and concretestructures, properties, technological and economical aspects of the use. Silic. Ind.

Glukhovsky, V.; Rostovskaja, G.; Rumyna, G. (1980). High strength slag-alkaline cements. 7Th Intern. Congr. Chem. Cem. (Paris), 3, (1980) V-164-168.

González, A (2016). “Propuesta de Factores Organizacionales en un Modelo de Innovación para PyMES: Empresas dedicadas a la elaboración de Concreto Premezclado en México” MEMORIAS DEL XVIII CONCURSO LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN CLIDi 2016, CSAD 17

Gunther, R. (2013). “The End of Competitive Advantage”: Harvard Business School Publishing, 229 p.

Hernández, G; Velásquez, S.(2014) “Vivienda y calidad de vida. Medición del hábitat social en el México occidental” Revista Bitácora Urbano Territorial, vol. 24, núm. 1, enero-junio, 2014, pp. 1-36 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia

Imbabi M; Carrigan C; McKenna S. (2012). ‘’Trends and developments in green cement and concrete technology’’, International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 1, pp.194–216.

Krivenko P. (1994). ‘’Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes’’, VIPOL Stock Company, Kiev, Ukraine, pp. 11–129.

Montes N. (2014). Cementos Alcalinos: Materiales de Construcción Ecológicos

Nasvi M; Ranjith P; Sanjayan J. (2013). ‘’The permeability of geopolymer at down-hole stress conditions: Application for carbon dioxide sequestration wells’’, Applied Energy, vol. 102, pp. 1391–1398.

Nasvi MCM, Ranjith PG, Sanjayan J. Effect of different mix compositions on apparent carbon dioxide (C[O.sub.2]) permeability of geopolymer: suitability as well cement for C[O.sub.2] sequestration wells. Appl Energy 2014:114:939-48. [6]

NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la construcción - Agregados - Muestreo.

NMX-C-077-1997-ONNCCE Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis granulométrico – Método de prueba.

NMX-C-083-ONNCCE-2014 Industria de la construcción - Concreto - Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes método de ensayo.

NMX-C-111-ONNCCE-2014 Industria de la construcción-Agregados para concreto hidráulico-especificaciones y métodos de prueba.

NMX-C-156-ONNCCE-2010 Industria de la construcción –Concreto hidráulico – Determinación del revenimiento en el concreto fresco.

NMX-C-159-ONNCCE-2004 Industria de la construcción - Concreto - Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.

NMX-C-166-2006 Industria de la construcción - Agregados - Contenido total de humedad por secado método de prueba.

NMX-C-173-ONNCCE-2010 Determinación de la Variación en Longitud de Especímenes de Mortero de Cemento y de Concreto Endurecidos

NMX-C-255-ONNCCE-2013 Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo.

NMX-C-275-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Concreto - Determinación de la velocidad de pulso a través del concreto - Método de ultrasonido.

NMX-C-515-ONNCCE-2015 Industria de la construcción – Resistividad Eléctrica del concreto hidráulico- Especificaciones y Método de ensayo.

NORMA MEXICANA NMX - C - 177 - 1997 – ONNCCE

NORMA MEXICANA NMX-C-155-ONNCCE-2014, INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – CONCRETO HIDRÁULICO - DOSIFICADO EN MASA - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO

NORMA MEXICANA NMX-C-158-ONNCCE-2006 (Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-158-1987)

NORMA MEXICANA NORMA MEXICANA NMX-C-173-ONNCCE-2010 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CONCRETO HIDRÁULICO DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN EN LONGITUD DE ESPECÍMENES DE MORTERO DE CEMENTO Y DE CONCRETO ENDURECIDOS

Pacheco F; Castro J; Jalali S. (2008). ‘’Alkali-activated binders: A review, Part 1. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products’’. Construction and Building Materials, vol. 22 pp.1305–1314.

Pizzi, A; Brunet, I. (2013). Creación de empresas, modelos de innovación y pymes,Cuadernos del CENDES, vol. 30, núm. 83, mayo-agosto, 2013, pp. 53-74.

Puertas F; Barba A; Gazulla M; Gómez M; Palacios M; Martínez S. (2006). ‘’Residuos cerámicos para su posible uso como materia prima en La fabricación de clínker de cemento portland: caracterización y activación alcalina’’, Materiales de Construcción, vol. 56, n° 281, pp. 73-84.

Purdon, A. (1940). The action of alkalis on blast-furnace slag. J. Soc. Chem. Ind. 59, (1940), 191-202

[1]
X.M. Shi, N. Xie, K. Fortune, J. Gong, Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: an overview, Constr. Build. Mater. 30 (2012) 125-138.

ANEXOS

Anexo 1 Certificado de análisis de cemento portland CPC40

CEMENTOS FORTALEZA

CEMENTOS FORTALEZA

elementia

GERENCIA DE OPTIMIZACIÓN PLANTAS
Informe Mensual de Resultados de Calidad
Cemento Portland Compuesto
CPC 40

Nombre del Cliente: Comercial Fortaleza
Dirección del Cliente: ----------
Fabricado: **Planta PALMAR**
Fecha del muestreo : Del 01 al 31 de Agosto 2018
Punto de Muestreo : Envase
Identificación : **CPC 40 Septiembre 2018**

No. Documento : **9 CPC 40-2018**
Fecha de Edición : 02-oct-18

Especificaciones Físicas	Método de Prueba	Especificación Norma NMX-C-414-ONNCCE-2017		Unidades	Resultados
		Mínimo	Máximo		
Resistencia a compresión a 1 día	NMX-C-061-ONNCCE-2015	---	---	N/mm^2	23.4
Resistencia a compresión a 3 días	NMX-C-061-ONNCCE-2015	---	---	N/mm^2	36.2
Resistencia a compresión a 28 días *	NMX-C-061-ONNCCE-2015	40	---	N/mm^2	45.5
Tiempo de Fraguado Inicial	NMX-C-059-ONNCCE-2013	45	---	min	130
Tiempo de Fraguado Final	NMX-C-059-ONNCCE-2013	---	600	min	306
Blaine	NMX-C-056-ONNCCE-2013	---	---	cm2/g	4120
Retenido 325M	NMX-C-049-ONNCCE-2015	---	---	%	4.1
Especificaciones Químicas		**Mínimo**	**Máximo**		
SO_3	NMX-C-131-ONNCCE-2010	---	4.0	%	3.8

*Este informe de resultados corresponde a la muestra compuesto de la fecha del muestreo indicado y no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.

*.- **Resistencia a 28 días corresponde a la fecha de:** Promedio de Agosto del 2018.

COMENTARIOS: Cumple las especificaciones de la norma NMX-C-414-ONNCCE-2017

FIRMA Y FECHA

Ing. David Guerrero
Gerente de Optimización Plantas

Ing.Jorge Luis Ruiz L.
Jefe de Laboratorio

CEMENTOS FORTALEZA S. A. DE C. V.
Oficina Central: Lago Zurich No. 245 Piso 20. Colonia ampliación Granada, Del. Miguel Hidalgo, CP 11529, Ciudad de México.
TEL. 52 5511056800 FAX: 52 5511056831
Plantas: PALMAR, HGO. TEL. 772 727 5000 , TULA, HGO. TEL. 778 735 9100
E-mail: dguerrero@elementia.com jruizl@elementia.com

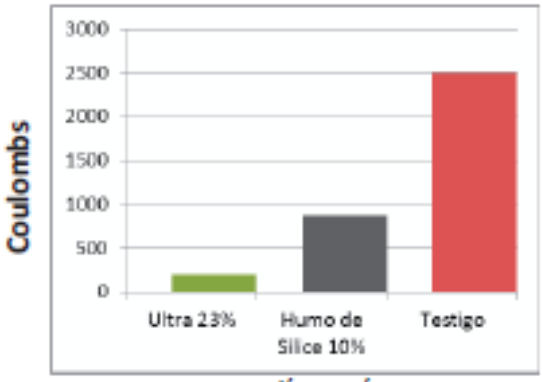
ANEXO 2 Cemento alcalino basado en ceniza volante

G ULTRA *reactive ash*

Concreto de Alto Desempeño

Propiedades Inmejorables

Permeabilidad Ion Cloruro



Resultados de penetración a 56 días ASTM-C-1202

Ventajas Tecnologícas

- ***No reduce las resistencias tempranas del concreto***
- ***Aumenta la durabilidad del concreto***
- ***Aumenta la resistencia a los sulfatos***
- ***Reduce el calor de hidratación***
- ***Reduce el riesgo a la acción Álcali-Sílice***
- ***Reduce el requerimiento de agua en la mezcla, mejorando la relación A/C***
- ***Reduce la permeabilidad del concreto***
- ***Mejora las propiedades del concreto para ser bombeado.***
- ***Aumenta las resistencias a largo plazo del concreto***
- ***Reduce el agrietamiento por contracción***
- ***Reduce la aparición de eflorescencias***

Descripción del Producto

G ULTRA *reactive ash* es una ceniza volante activada química y mecánicamente, con propiedades cementantes que provee mejores características mecánicas, plásticas, adherentes y durables al concreto, a la vez que contribuye a un menor costo de producción del mismo.

Reduce la permeabilidad

G ULTRA *reactive ash* es una puzolana que consume Hidróxido de calcio que se genera en la hidratación del cemento, esta reacción genera mas silicatos de calcio hidratados, lo que hace el concreto mas denso e impermeable y mas resistente a los sulfatos, cloruros y a la penetración de la humedad.

Tamaño y distribución de partícula

G ULTRA *reactive ash* tiene un tamaño y distribución de partícula tal que llena de manera muy eficiente los espacios dejados entre los agregados y el cemento, esto hace que se consuma menos agua en la mezcla y que el concreto se vuelva mas durable.

	Tamaño promedio de partícula en micras	% Distribución	Blaine
ULTRA reactive ash	<10	99	>6000
cemento	45	90	<4500
humo de sílice	0.1	99	

Normatividad

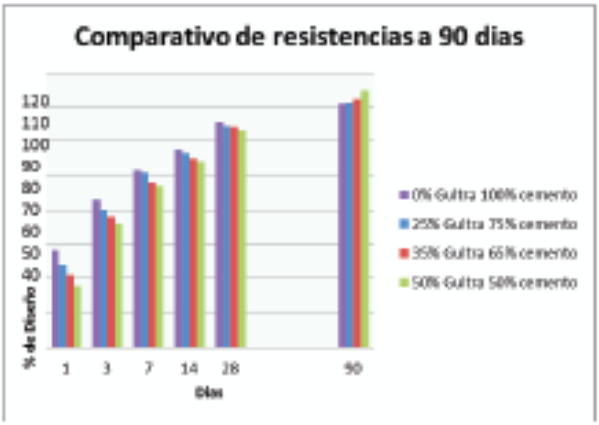
G ULTRA *reactive ash* cumple con la norma ASTM-618 ceniza volante tipo F.

Datos técnicos

Información de características físicas, desempeño requerido y composición química típica de la ceniza G ULTRA *reactive ash* es la siguiente:

ID	G ULTRA reactive ash	REFERENCIA ASTM-C-618
Pérdida por ignición	3.5%	6,0 % máx
SiO2	63%	
Al2O3	21.9%	
Fe2O3	9,0%	
Sio2+Al2O3+Fe2O3	94%	70% min
SO3	0.8%	5% máx
Índice de Actividad Hidráulica a 28 días	100%	75% min
Retenido No. 325 (malla 45µ)	2.4%	34% máx
Finura Blaine	Min 6,000 cm2/g	
Densidad	2.2 g/cm3	
Peso Volumetrico	0.86 g/cm3	
		REFERENCIA ASTM-C-1202
Penetrabilidad Ion-Cloruro*	Menor a 1000 *	Muy Baja 100-1,000

*** Dependerá del diseño de mezcla y cantidad de G ULTRA *reactive Ash* empleada.**



Beneficios Ambientales

(Por cada tonelada de G ULTRA *reactive ash* que se utiliza)

- Reduce un % importante de emisiones de CO2 al ambiente
- Reduce la sobre explotación de recursos naturales
- Reduce la contaminación de tierra y aire en los lugares que actualmente se destinan para su disposición final.
- Cumple con los lineamientos LEED en la categoría de materiales reciclados (LEED MR 4.1)
- Reduce el consumo de energía eléctrica.

Modo de Entrega

Material entregado a granel y/o big bag de 1 ton.

Almacenamiento

El producto requiere de las mismas medidas de protección contra la humedad que el cemento Portland

Medidas de Seguridad

En caso de contacto con los ojos, lavar abundantemente con agua. En caso de ingestión no provoque vómito y solicite ayuda médica.

Se han realizado una gran cantidad de pruebas en laboratorio, con diferentes tipos de agregados (arena y grava), diferentes marcas de cementos y aditivos reductores de agua en donde se ha comprobado que la resistencia a la compresión del concreto ha alcanzado en todos los casos el 100% de la resistencia de diseño a 28 días.

Oficina de ventas

Ciudad de México 5585495197

Dado que G ULTRA *reactive ash* (Aditivos cementantes sapi de cv) no puede controlar el destino final y uso de sus productos, no puede ofrecer una garantía implícita ni expresa del uso y comportamiento del producto en ninguna circunstancia. Se recomienda hacer pruebas antes del uso de este producto en cada caso particular. Si se requieren usos y aplicaciones diferentes, se recomienda consultar al área técnica de G ULTRA *reactive ash*

Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, A.C.

INFORME DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Nombre del cliente:	**ADITIVOS CEMENTANTES S.A.P.I. DE C.V.**
Dirección:	**CALLE CAUSE 10 COLONIA PARQUE DEL PREDEGAL TLALPAN DISTRITO FEDERAL C. P. 14010**
Orden de Trabajo N°:	**1265**
Informe Técnico N°:	**360/2017**
Fecha recepción:	**2017-08-17**
Fecha ensaye:	**2017-10-24**
Descripción de muestras:	**UNA MUESTRA DE CENIZA VOLANTE**
Pruebas realizadas:	**DETERMINACION DEL ANALISIS FISICOQUIMICO**
Resultados:	**SE REPORTAN EN HOJAS ANEXAS**
Referencias:	**ASTM-C-618-08a***
Condiciones Ambientales:	**Temperatura: - °C Humedad relativa: - %**
Procedimientos Utilizados:	**PO-GTLCE 001, 002, 003, 005, 006, 007, 008, 009, 013, 014, 016**

* Fuera del alcance de acreditación

Realizó:	Revisó:	Fecha de emisión:
Erick Guerra Rentería	Ing. Delfina Zamora Godínez	2017-10-24
Técnico Laboratorio de Cemento	Coordinación Laboratorio de Cemento	Hoja N° 1 de 2

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento, sin la autorización escrita del IMCYC.
Los resultados del presente informe corresponden a la(s) muestra(s) ensayada(s).
Pág. 801 mxn

Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, A.C.
Insurgentes Sur No. 1846, Col. Florida
Del. Álvaro Obregón
C.P. 01030, México, D.F.
Tels. (01 55) 5322 5700, 5662 0808
Fax (01 55) 5322 5742
imcyc@mail.imcyc.com
Constitución No. 36, Col. Exposición
Del. Miguel Hidalgo
C.P. 11800, México, D.F.
Tels. (01 55) 5276-7200
Fax (01 55) 5276-7219
www.imcyc.com

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE PUZOLANAS

Orden de Trabajo No. 1265 | Informe Técnico No. 360/2017 | Hoja No. 2 de 2

Cliente: ADITIVOS CEMENTANTES S.A.P.I. DE C.V.

Muestra No. Q1017: UNA MUESTRA DE CENIZA VOLANTE

Resultados obtenidos

Requerimientos químicos	%	Especificación Clase F %	Clase N %	Clase C %
Dióxido de silicio (SiO_2) + óxido de aluminio (Al_2O_3)+ Óxido de hierro (Fe_2O_3), min %	84.7	70	70	50
Trióxido de azufre (SO_3), max %	0.3	5,0	4,0	5,0
Pérdida por calcinación, max %	3.6	6,0	10,0	6,0
Humedad, max %	0.2	3,0	3,0	3,0
Alcalis disponibles (Na_2O), max %	1.5	1,5	1,5	1,5
Requerimientos físicos				
Índice de actividad puzolánica mínimo % del control a 7 días	98.7	75	75	75
Índice de actividad puzolánica mínimo % del control a 28 días	99.1	75	75	75
Expansión en autoclave, max %	-0.01	0,8	0,8	0,8
Densidad g/cm^3	2.43			

Observaciones: Los resultados son únicamente para la muestra recibida.

El muestreo y procedencia fue responsabilidad del IMCYC ( ), CLIENTE (X)

Referencias: ASTM-C-618-08a*

Realizó:	Revisó:	Fecha de elaboración:
Erick Guerra Ramírez Técnico Laboratorio Cemento	Ing. Gpe. Lizamora Rodríguez Coordinación Laboratorios de Cemento	2017-10-24

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita del IMCYC A.C.
Los resultados del presente informe corresponden exclusivamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).

Rg-027.xls

ANEXO 3.- Agregado grueso tipo andesitico TMA 19 mm. grava

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION
LORENA IBARRA PEÑA
AV. REFORMA NO. 24 COL. CENTRO, SAN ANTONIO ZARAGOZA, SAN SALVADOR, HGO.

REGISTRO DE ENSAYE DE GRAVA

Material: GRAVA 3/4
Ensaye N: 65
Procedencia: BANCO TEPOZOYUCAN
Para: PROCESOS GESTCA S. A. DE C. V.
Obra: FRACC. LOS AMORES DE DON JUAN

Fecha de Inicio: 18/04/2018
Fecha de Terminacion: 24/04/2018

Cantidad de Material Recibido: 30000 KG

Pesos Volumétricos Secos:				**Densidad**			
P(5525)=		7980 4875					
		2455		Psss=	225.2	Psss=	274
PV suelto=1,133	Pmuestras=	5525		V=	100	V=	120
		8570 4875					
P(6115)=	Pgrava=	2455		D 1 =	2.25	D 2 =	2.28
		6115					
PV compactado_= 1,252				D =	2.26		kg/lt

Pesos Volumétricos Humedos:	**% de Absorción=**		**% Humedad =**			
P( )=			Ph =	234.8	Psss=	285.5
PV suelo=	Pmuestras=	Ph =	Ps =	225.2	V=	274
P( )=	Pgrava=	Ps =	D 1 =	9.6	D 2 =	11.5
PV compactado_=		Dif =	HT1 =	4.26	HT2 =	4.20
			HT =	4.23		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

Peso de la muestra

Malla	Peso (gr)	Material Retenido (%)	(%) Enteros	Ret. Acum.	Pasa Acum.
3 "					
2"					
1 1/2					
1"					100
3/4"	530	8.0	8	8	92
1/2"	3200	51.0	51	59	41
3/8"	1190	19.0	19	78	22
Núm 4	1120	18.0	18	96	4
Charola	260	4.0	4	100	0
Sumas	6300	100	100		
Módulo de Finura :					

C. JUVENAL GONZÁLEZ G.
LABORATORISTA

TEC. J. DANIEL CAMARGO R.
JEFE DE LABORATORIO

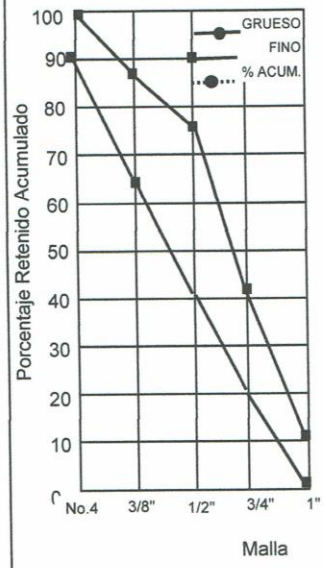
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION

LORENA IBARRA PEÑA

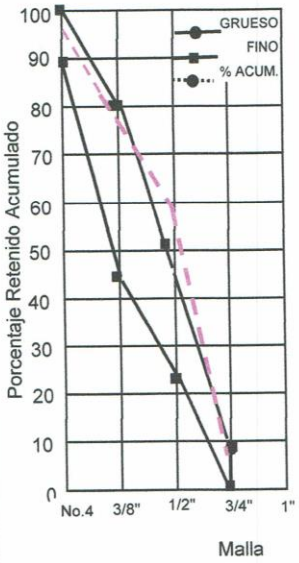
AV. REFORMA NO. 24 COL. CENTRO, SAN ANTONIO ZARAGOZA, SAN SALVADOR, HGO.

LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE LA GRAVA

NATURAL



CRIBADA



DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Módulo de Finura Arena:		Densidad de la Grava:	**2.26**
P. V. Compactado Grava Seco:	**1.252**	% de Absorción:	**4.23**
Infra Tamaño en la Grava:			

Observación: ESTOS SON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MATERIAL ANALIZADO.

C. JUVENAL GONZÀLEZ G.
LABORATORISTA

C. J. DANIEL CAMARGO ROSALES
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO 4.- Agregado fino tipo andesitico TMA 4 mm. arena

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION
LORENA IBARRA PEÑA
AV. REFORMA NO. 24 COL. CENTRO, SAN ANTONIO ZARAGOZA, SAN SALVADOR, HGO.

REGISTRO DE ENSAYE DE ARENA

Material: ARENA
Ensaye N: 59
Procedencia: BNACO TEPOZOYUCAN
Para: PROCESOS GESTCA S. A. DE C. V.
Obra: FRACC. LOS AMORES DE DON JUAN.

Fecha de Inicio: 18/04/2018
Fecha de Terminacion: 24/04/2018

Cantidad de Material Recibido: 30000 KG

Pesos Volumétricos Secos:		% de Grava=		Densidad			
P(6760)=		9215 4875					
		2455		Psss=	198.8	Psss=	184.3
PV suelo= 1,387	Pmuestras=	6760		V=	85	V=	80
		10070 4875					
P(7615)=	Pgrava=	2455		D = 1	2.34	D= 2	230
		7615					
PV compactado= 1,562					D =	2,32	kg/lt

Pesos Volumétricos Humedos:		% de Absorción=		% Humedad =			
P( )=					CH-1		CH-2
				Ph =	211.7		443.0
					199.3		
PV suelo=		Ph =		Ps =			415.9
P( )=		Ps =		D = 1	12.4		27.1
PV compactado_=		Dif =		HT1 =	6.22	HT2 =	6.51
					HT =	6.36	

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

Peso de la muestra 1000 - 933.5 7.22% PERDIDA POR LAVADO

Malla	Peso (gr)	Material Retenido (%)	(%) Enteros	Ret. Acum.	Pasa Acum.
3/8"					100
Núm. 4	25.5	2.7	3	3	97
Núm. 8	270.6	29.0	29	32	68
Núm. 16	224.7	24.1	24	56	44
Núm. 30	160.0	17.1	17	73	27
Núm. 50	83.3	8.9	9	82	18
Núm. 100	95.6	10.3	10	92	8
Núm. 200	35.5	3.8	4	96	4
Charola	38.3	4.1	4	100	0
Sumas	933.5	100	100		
MODULO DE FINURA				4.34	

C. JUVENAL GONZÁLEZ G.
LABORATORISTA

C. J. DANIEL CAMARGO R.
JEFE DE LABORATORIO

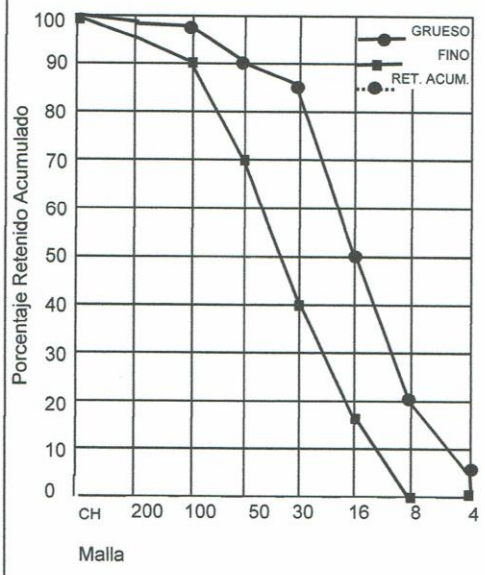
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION

LORENA IBARRA PEÑA

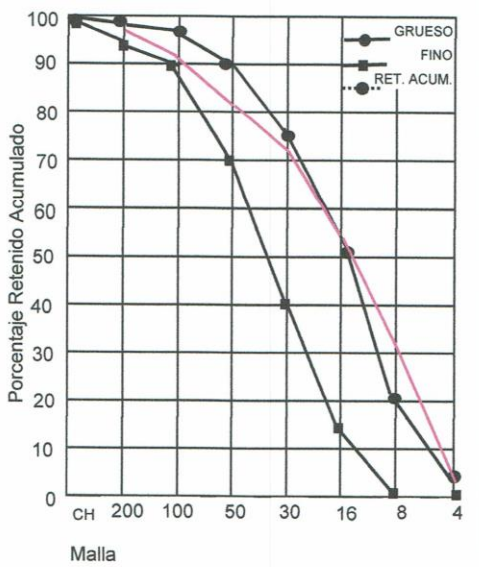
AV. REFORMA NO. 24 COL. CENTRO, SAN ANTONIO ZARAGOZA, SAN SALVADOR, HGO.

LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA

NATURAL



CRIBADA



DATOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Módulo de Finura Arena:	**4.34**	Densidad de la arena:	**2.32**
P. V. Compactado Arena:	**1,562**	% de Absorción:	**7.22**
Supratamaño en la Arena:		Humedad en la Arena:	

OBSERVACIONES: ESTOS SON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DELMATERIAL ANALIZADO

C. JUVENAL GONZÁLEZ G.
LABORATORISTA

TEC. J. DANIEL CAMARGO R.
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO 5.- e5 DRA CW es un reductor de agua.

e5 DRA CW

Descripción

e5 DRA CW es un reductor de agua, elaborado a partir de dispersantes amigables con el medio ambiente y de alta tecnología, diseñado especialmente para romper el efecto de floculación de las partículas de cemento al entrar en contacto con el agua.

Diseñado para clima frio, donde el efecto de la temperatura puede provocar retardos de fraguado. Permite reducciones de agua mayores al 5%. Cumple ampliamente como aditivo tipo A ASTM C-494. No contiene cloruros adicionados.

Beneficios

- Incrementa las resistencias mecánicas del concreto.
- Mejora las propiedades reológicas del concreto.
- Reduce la permeabilidad del concreto.
- Reduce la relación agua/material ligante.
- Adecuado para la fabricación de concretos en climas frios.
- Incrementa la durabilidad de las mezclas.
- Reduce el costo de fabricación del m3 del concreto.
- Altamente compatible con la tecnología **GUltra** reactive ash, para la fabricación de concretos híbridos de mayor durabilidad y con beneficios económicos importantes.

Información técnica

Gravedad especifica 1.19

Apariencia física Liquido color café obscuro.

Presentación

Cubeta de 19 L, tambor de 200 L y granel.

Vida útil 12 meses en su envase original.

Aplicaciones principales

- Concretos para vivienda industrializada que requieren el retiro de moldes a edad temprana.
- Concretos híbridos durables con la tecnología **GUltra**.
- Concretos convencionales.
- Concreto bombeado.
- Concreto estructural.

Instrucciones de uso

Para mejores resultados se recomienda la elaboración de pruebas a nivel laboratorio con los materiales de obra y realizar todos los ajustes necesarios en la mezcla de concreto, como son: apariencia, trabajabilidad, consistencia, contenido de aire, rendimiento, tiempos de fraguado y la dosificación de los aditivos.

Después es importante la réplica de pruebas a nivel industrial bajo las condiciones reales de obra (humedad, temperatura, tiempos de traslado etc.), con el fin de realizar los últimos ajustes.

Ingrese todos los materiales agregados, cemento y el 80% del agua de mezclado; deje mezclar estos componentes por un tiempo de 2 minutos, después adicionar la cantidad de aditivo establecida con el último 20% del agua de mezcla.

Con lo anterior se logrará que el sulfato de calcio forme etringita con al aluminato tricálcico del cemento y mejorar el desempeño del aditivo.

Las dosificaciones pueden variar desde 4 hasta 10 cc/kg de cemento, y dependerán del diseño del concreto a elaborar. Una sobredosificación a las establecidas puede provocar un retraso en la velocidad de hidratación del cemento.

Cuando se emplea en combinación con impermeabilizantes integrales es necesario revisar el contenido de aire y tiempos de fraguado en la mezcla de concreto.

Realizar pruebas en combinación con otros aditivos, para revisar el comportamiento de la sinergia de aditivos, principalmente en el contenido de aire y tiempos de fraguado. Es compatible con todos los aditivos. Ante cualquier variación importante en los materiales (cambio de agregados, cemento etc.), es necesario hacer los ajustes requeridos en las dosificaciones empleadas.

En caso de tener temperaturas extremas e5 DRA CW puede emplearse en sinergia con cualquiera de nuestros aditivos acelerantes de fraguado.

Consultar a su Asesor Técnico de Soluciones Integrales Element5-GUltra, para la elaboración de concretos híbridos durables y con un importante beneficio económico.

Precauciones

- No permita que el producto se congele.
- Mantener siempre el producto en su envase original.
- Nunca adicione el aditivo al cemento sin previa hidratación, ni con los agregados ya que bajará la eficiencia del mismo.

ANEXO 6.- e5 SP 2000 es un reductor de agua de alto rango.

e⁵ SP 2000

Descripción

e⁵ SP 2000 es un reductor de agua de alto rango, y superplastificante, elaborado a partir de polímeros de alta tecnología diseñada especialmente para interactuar con las partículas de cemento y romper así el efecto de floculación de las mismas. Permite reducciones de agua hasta del 20%. Cumple ampliamente como aditivo tipo F ASTM C-494 y tipo I ASTM C 1017.

Beneficios

- Incrementa la resistencia a la tensión, compresión y módulo de elasticidad del concreto.
- Mejora las propiedades reológicas del concreto.
- Especialmente diseñado para concretos en donde se requiere una baja cantidad de álcalis.
- Reduce la permeabilidad del concreto.
- Reduce la relación agua/material ligante.

Presentación

Cubeta de 19 L, tambor de 200 L y granel.

Vida útil 12 meses en su envase original.

Información técnica

Dosificación de **e⁵ SP 2000** a 10 cc/kg de cemento.

Gravedad especifica 1.20.

pH 7.0.

Apariencia física Líquido color café obscuro.

Aplicaciones principales

- Concretos de alto desempeño.
- Concretos auto-consolidables.
- Concreto bombeado.
- Concreto permeable.
- Concreto colocado bajo agua (en combinación con nuestro aditivo **e⁵ AWA** anti washout admixture).
- Concretos de alta resistencia mecánica.
- Concretos ligeros.
- Concretos elaborados con humo de sílice.
- Concretos convencionales.
- Concretos lanzados (en combinación con nuestros acelerantes con álcalis y sin álcalis **e⁵ SHOTCRETE** y **e⁵ SHOTCRETE AF**).

e⁵ SP 2000

Instrucciones de uso

Para mejores resultados se recomienda la elaboración de pruebas a nivel laboratorio con los materiales de obra para realizar todos los ajustes necesarios en la mezcla de concreto, como apariencia, trabajabilidad, consistencia, contenido de aire, rendimiento, tiempos de fraguado y la dosificación de los aditivos. Después es importante repetir las pruebas bajo las condiciones reales de obra (humedad, temperatura, tiempos de traslado etc.), con el fin de realizar los últimos ajustes.

Ingrese todos los materiales: agregados, cemento y el 80 % del agua de mezclado. Deje mezclar éstos componentes por un tiempo de 2 minutos, después adicionar la cantidad de aditivo establecida con el último 20% del agua de mezcla. Con lo anterior se logrará que el sulfato de calcio forme etringita con al aluminato tricálcico del cemento y mejorar el desempeño del aditivo.

Las dosificaciones pueden variar desde 4 hasta 20 cc/kg de cemento, y dependerán del diseño del concreto a emplear. Una sobredosificación a las establecidas puede provocar un retraso en la velocidad de hidratación del cemento.

También **e⁵ SP 2000** puede ser empleado a pie de obra para incrementar la consistencia del concreto, las dosis se establecerán con base en pruebas previas.

Precauciones

- La sobredosificación de aditivo puede causar retardos en la velocidad de hidratación del cemento.
- Realizar pruebas en combinación con otros aditivos, para revisar el comportamiento de la sinergia de aditivos, principalmente en el contenido de aire y tiempos de fraguado.
- No es compatible con aditivos base policarboxilato.
- Ante cualquier variación importante en los materiales (cambio de agregados, cemento etc.), es necesario hacer los ajustes requeridos en las dosificaciones empleadas.
- No permita que el producto se congele.
- Mantener siempre el producto en su envase original.
- Nunca adicione el aditivo al cemento sin previa hidratación, ni con los agregados ya que bajará la eficiencia del mismo.

ANEXO 7.- e5 FIBER 600

e5 FIBER 600

Descripción

e5 FIBER 600 es un producto diseñado específicamente para refuerzo secundario del concreto, reduce la formación superficial de fisuras por contracción plástica del concreto en estado fresco y por temperatura en estado endurecido. Elaborado con fibra de polipropileno 100% virgen, en forma de multifilamentos para un mejor desempeño en el concreto.

Beneficios y características

- Actúa como refuerzo secundario de manera tridimensional en el concreto.
- Reduce el sangrado.
- Reduce la segregación.

Usos

- Naves industriales.
- Pavimentos de concreto.
- Estacionamientos.
- Concreto no reforzado convencional.
- Cimentaciones.
- Losas, tuberías de concreto.

Informacion de datos tipicos en pruebas de laboratorio

Material Polipropileno	100% virgen
Denier	3
Número de fibras	90 000 000/m^3
Tipo de fibras	multifilamentos

Presentación

Caja con 50 bolsas de 600 gramos, dosificación indicada para aplicación de un metro cúbico de concreto.

Referencias

ACI 302.1R-04: Guide for Concrete Floor and Slab Construction
http://www.concrete.org/Store/ProductDetail.aspx?ItemID=302104

ACI 308R-01: Guide to Curing Concrete (Reapproved 2008)
http://www.concrete.org/Store/ProductDetail.aspx?ItemID=30801

e5 FIBER 600

Recomendaciones de aplicación

e5 FIBER 600 está lista para usarse en cualquier momento. En concreto premezclado se puede aplicar en planta u obra, con un mínimo de mezclado de 3 minutos en velocidad de agitación, para su buena dispersión en toda la masa de concreto. En mezclas secas se requiere mayor tiempo de mezclado para su buena dispersión y no generar aglutinamientos en el concreto.

Rendimiento

La dosificación es a razón de una bolsa de 600 gramos por metro cubico de concreto.

Cuidados y precauciones

- Las instrucciones de forma de uso se hacen según nuestros ensayos y conocimientos y no suponen compromiso. No liberan al consumidor del examen y verificación de los productos para su correcta utilización.

- Es necesario realizar pruebas de laboratorio para hacer los ajustes en la consistencia del concreto en estado fresco (revenimiento), antes de cualquier colado. Para cualquier duda o aclaración, favor de contactar al Departamento Técnico de ELEMENT5 QUÍMICA APLICADA S.A. de C.V.