



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES

“Evaluación de la ceniza volante como aditivo y/o sustituto porcentual del cemento portland, en la fabricación de blocks (vibro-compactados)”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS MATERIALES

PRESENTA

HUGO GARCIA ORTIZ

DIRECTORES

DR. FELIPE LEGORRETA GARCÍA

DR. EDGAR ARTURO CHÁVEZ URBIOLA

2018



Mineral de la Reforma, Hgo., a 11 de diciembre de 2018

Número de control: ICBI-D/1242/2018
Asunto: Autorización de impresión de tesis.

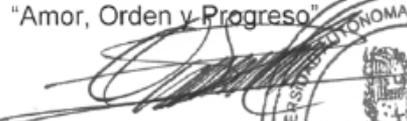
M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Por este conducto le comunico que el comité revisor asignado al C. Hugo García Ortiz, alumno de la Maestría en Ciencias de los Materiales con número de cuenta 133600, se le autoriza la impresión del proyecto de tesis titulado "Evaluación de la ceniza volante como aditivo y/ o sustituto porcentual del cemento portland, en la fabricación de blocks (vibro-compactados)" en virtud de que se han efectuado las revisiones y correcciones pertinentes.

A continuación, se registran las firmas de conformidad de los integrantes del comité revisor.

PRESIDENTE	Dr. Edgar Arturo Chávez Urbiola
SECRETARIO	Dr. Francisco Javier Olguín Coca
VOCAL	Dr. Felipe Legorreta García
SUPLENTE	M. en C. Alberto Arenas Flores

Sin otro particular reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
 "Amor, Orden y Progreso"

 Dr. Óscar Rodolfo Suárez Castillo
 Director del ICBI



ORSC/IBO

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
 Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
 Mexico, C.P. 42184
 Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 2231
 Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx



ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE GRAFICAS	9
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	9
DEDICATORIA.....	10
AGRADECIMIENTOS	10
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	11
Justificación	15
Hipótesis.....	15
Objetivos	16
General	16
Específicos	16
CAPITULO 2: ANTECEDENTES	17
Ceniza volante.....	17
Tipos de carbón.....	20
Producción de ceniza volante	22
El proceso de la quema de carbón:	23
Obtención de ceniza volante	24
Cemento.....	25
Aplicaciones generales	25
Proceso de fabricación	25
Tipos de cemento portland y composición química	26
Cemento Portland Ordinario (CPO) para la fabricación de blocs vibro-compactados.....	27
Materiales pétreos empleados en la fabricación de vibro-compactados (blocs de concreto)	29
Aditivos.....	30
Relación agua-cemento.....	30
Concreto	31
Maquinas vibro-compactadoras para blocks de concreto.	33
La vibro-compactación en el concreto	35
Blocks de concreto	36

Proceso de fabricación	38
Calculo de mezclas	40
Normativa aplicable para la fabricación de blocks de concreto	41
Procedimiento para muestreo de agregados NMX-C-030-ONNCCE-2004	43
Procedimiento para cálculo de masa volumétrica NMX-C-073-ONNCCE-2004.....	44
Procedimiento para análisis granulométrico NMX-C-077-ONNCCE-1997	45
Procedimiento para análisis de pérdida por lavado NMX-C-084-ONNCCE-2006	46
Procedimiento para determinar contenido de impurezas orgánicas NMX-C-088-ONNCCE-1997	47
Procedimiento para prueba de absorción de agua y masa especifica de los agregados grueso y fino NMX-C-164-ONNCCE-2014 y NMX-C-165-ONNCCE-2014	48
Procedimiento para determinar humedad del agregado NMX-C-166-ONNCCE-2006.....	49
Procedimiento para reducción de muestras al tamaño requerido de las pruebas NMX-C-170-ONNCCE-1997	50
Procedimiento para la prueba de revenimiento.....	51
Procedimiento de absorción inicial y a 24 horas NMX-C-037-ONNCCE-2013	52
Procedimiento para ensayo a la compresión sobre bloques de concreto seco NMX-C-036-ONNCCE-2004	53
Procedimiento para determinación de las dimensiones NMX-C-038-ONNCCE-2013.....	54
Parámetros de referencia NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso estructural.....	55
CAPITULO 3: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	57
Diagrama de flujo.....	59
Caracterización de materias primas.....	60
Granulometría	60
Difracción de Rayos X (DRX)	61
Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).....	62
Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS).....	63
Resistencia a la compresión	64
Absorción inicial.....	65
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
Arena.....	67
Grava	74
Cemento.....	79
Ceniza volante.....	83

Evaluación de resistencia , densidad y absorción inicial	89
CONCLUSIONES.....	97
Bibliografía	98

RESUMEN

La necesidad de la humanidad de tener una vivienda digna genera una demanda de materiales para construcción, que cumplan con las normas aplicables, pues de no hacerlo presentarían un riesgo.

Para caracterización de los materiales pétreos y la ceniza volante, fueron empleadas las técnicas de, Difracción de Rayos X (DRX), Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y se realizó su granulometría con forme a las normas ONNCCE.

Se realiza un estudio del efecto de 3 sustitutos del cemento portland en la densidad relativa, la resistencia a la compresión y la absorción inicial (capilaridad), en blocks de concreto vibro-compactados. El cemento Portland es sustituido por tres diferentes constituyentes de la mezcla, en diferentes proporciones: a) 10% por ceniza volante, b) por 30% de cemento Impercem®, y c) el uso de un aditivo autocurable. Los resultados indican que la ceniza volante, proporcionan un beneficio de resistencia a la compresión, sin embargo, los valores de absorción son superiores a los permisibles por norma. Adicionalmente, se realiza la caracterización de los materiales de partida por diferentes técnicas Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Difracción de Rayos X (DRX). Todas las medias físicas se efectúan en el marco de la normativa ONNCCE.

ABSTRACT

The need of humanity to have decent housing generates a demand for construction materials, which comply with the applicable standards, because otherwise they would present a risk.

For characterization of the stony materials and the fly ash, the techniques of X-ray diffraction (XRD), X-ray energy dispersion spectrometry (EDS), Scanning Electron Microscopy (SEM) and its granulometry were carried out. conform to the ONNCCE standards.

A study of the effect of 3 portland cement substitutes on the relative density, the compressive strength and the initial absorption (capillarity), on vibro-compacted concrete blocks is carried out. Portland cement is replaced by three different constituents of the mixture, in different proportions: a) 10% by fly ash, b) by 30% Impercem® cement, and c) the use of a self-curable additive. The results indicate that the fly ash, provide a benefit of resistance to compression, however, the absorption values are higher than the allowable per standard. Additionally, the characterization of the starting materials is carried out by different techniques X-ray energy dispersion spectrometry (EDS), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). All physical means are carried out within the framework of the ONNCCE regulations.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Viviendas particulares habitadas.....	12
Figura 2 Número de personas que en promedio ocupan una vivienda	12
Figura 3 Esquema de una planta Térmica.....	18
Figura 4 Esquema de una central carbo-eléctrica	18
Figura 5 Producción de electricidad en México. INEGLI	19
Figura 6 Producción de electricidad en el mundo.....	19
Figura 7 Mina de carbón a cielo abierto "El Cerrejón" en Colombia	21
Figura 8 Sistema de combustión del carbón pulverizado	22
Figura 9 Combustión de una partícula de carbón.....	23
Figura 10 Principios fundamentales del quemador	24
Figura 11 Comparativa de resistencia a la compresión de CPO 40 y CPO 30.....	28
Figura 12 Tipos de materiales pétreos.....	29
Figura 13 Componentes del concreto	31
Figura 14 Procedimiento para cálculo de revenimiento.....	33
Figura 15 Maquina Vibro-compactadora ponedora.	34
Figura 16 Maquina Vibro-compactadora estacionaria y automatica	34
Figura 17 Blocks de concreto de cada clasificación	36
Figura 18 Block de cara tronchada.....	37
Figura 19 Block de concreto macizo.	37
Figura 20 Block tipo gafa.....	37
Figura 21 Block tipo multicamara.	38
Figura 22 Esquema de la prueba de absorción.....	52
Figura 23 Equipo para Difracción de Rayos X.....	61
Figura 24 Microscopio Electrónico de Barrido.....	62
Figura 25 Microscopio Electrónico de Barrido con la técnica acoplada de (XEDS)	63
Figura 26 Esquema de la prueba de absorción.....	66
Figura 27 Mina de arena	67
Figura 28 Preparación de muestra de arena para prueba de granulometría de arena	68
Figura 29 Fotografía de la Arena por MEB a 2000 aumentos	70
Figura 30 Fotografía de la Arena por MEB a 100 aumentos	70
Figura 31 Fotografía de la Arena por MEB a 2000 aumentos	71
Figura 32 Análisis elemental de la Arena por (XEDS) imagen y espectro	72
Figura 33 Mina de grava.....	74
Figura 34 Mina de grava (uso de maquinaria pesada)	74
Figura 35 Cuarteador de acero inoxidable	75
Figura 36 RO-TAP (equipo para granulometría)	75
Figura 37 Preparación de muestra de arena para prueba de granulometría de arena	76
Figura 38 Fotografía de la CPO-40 por MEB a 100 aumentos.....	79
Figura 39 Fotografía de la CPO-40 por MEB a 800 aumentos.....	79

Figura 40 Fotografía de la CPO por MEB a 2000 aumentos	79
Figura 41 Muestra de preparada de grava para XEDS	80
Figura 42 Análisis elemental del CPO por (XEDS) imagen y espectro.....	81
Figura 43 Microscopio Electrónico de Barrido	83
Figura 44 Interior de un MEB	83
Figura 45 Equipo para recubrir con oro las muestras para MEB.....	83
Figura 46 Ceniza Volante por MEB a 100 aumentos	Figura 47 Ceniza Volante por MEB a 500 aumentos.....
84	84
Figura 48 Ceniza Volante por MEB a 40000 aumentos	Figura 49 Ceniza Volante por MEB a 2000 aumentos.....
84	84
Figura 50 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona.....	85
Figura 51 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona en partícula angulosa.....	85
Figura 52 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona en partícula esférica.....	86
Figura 53 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), puntual en una escama de la partícula esférica.	86
Figura 54 Difractograma de Ceniza Volante.....	88
Figura 55 Placa cabeceadora.	Figura 56 Blocks cabeceados con mortero de azufre
90	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de carbón respecto al contenido de carbono	20
Tabla 2 Tipos de cemento	27
Tabla 3 Composición química del cemento.....	27
Tabla 4 Clasificación de una mezcla de acuerdo a su revenimiento.	32
Tabla 5 Masa de muestra necesaria para prueba de humedad	49
Tabla 6 Parámetros de resistencia a la compresión (NMX-C-404-ONNCCE-2012)	55
Tabla 7 Parámetros de absorción (NMX-C-404-ONNCCE-2012)	56
Tabla 8 Mallas normalizadas por ONNCCE	60
Tabla 9 Características de la técnica (DRX).....	61
Tabla 10 Características de la técnica (SEM)	62
Tabla 11 Características de la técnica (XEDS)	63
Tabla 12 Parámetros de absorción (NMX-C-404-ONNCCE-2012)	65
Tabla 13 Granulometría de la Arena.	68
Tabla 14 Análisis elemental de la Arena por (XEDS), tabla de óxidos.	72
Tabla 15 Granulometría de la Grava	76
Tabla 16 Análisis elemental del CPO por (XEDS).....	81
Tabla 17 Concentrado resultados de (EDS) de Ceniza Volante.....	87
Tabla 18 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 1 de prueba.	91

Tabla 19 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 2 de prueba.	92
Tabla 20 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 3 de prueba.	93

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Granulometría de la Arena.....	69
Grafica 2 Granulometría de la Grava	77
Grafica 3 Coeficiente de absorción del lote uno.	94
Grafica 4 Coeficiente de absorción del lote dos.	94
Grafica 5 Coeficiente de absorción del lote tres.	94
Grafica 6 Resistencia a la compresión del lote uno.....	95
Grafica 7 Resistencia a la compresión del lote dos.....	95
Grafica 8 Resistencia a la compresión del lote tres.....	95

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama de flujo 1 Método experimental	59
Diagrama de flujo 2 Proceso de fabricación de Blocks	89

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Javier y Elodia, a mi pequeña hija María Elena, y a mi compañera de vida Wendy

Esta tesis está dedicada a mi padre, quien me enseñó que la mejor recompensa que se puede tener es la que se gana uno mismo trabajando hasta desfallecer. A mi mamá, quien día a día de trabajo nos muestra con el ejemplo que incluso la tarea más difícil se puede lograr si se hace poco a poco.

A mi esposa y mi hija que, con su apoyo incondicional, amor y confianza, pese a las pruebas que se presentaron me impulsaron a desarrollarme como ser humano y a nivel profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecir mi vida y la de mi familia, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mi esposa Wendy, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mi beba María Elena, a quien siempre amare y cuidaré para verla hecha persona capas y que pueda valerse por sí misma.

A mis padres, quienes son mi ejemplo.

A todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por confiar en m , abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de sus instalaciones.

A mi director de tesis Dr. Felipe Legorreta García principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y motivación me oriento en la investigación. A mi comité revisor integrado por: el Dr. Edgar Arturo Chávez Urbiola, el Dr. Francisco Javier Olguín Coca y el Dr. Alberto Arenas Flores por sus aportaciones, enseñanzas y apoyo

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su gestión, apoyo y patrocinio para la beca otorgada.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Sin duda el ser humano tiene la necesidad de ser reconocido y el deseo de no ser olvidado., desde la antigüedad la utilización de rocas es un éxito en este sentido, pues estatuas, artículos domésticos, etc. de distintas civilizaciones, subsisten hasta nuestros días. Con el tiempo la humanidad no se conformó con las rocas que tenía a su alcance y se vio en la necesidad de fabricarlas, sin una restricción de formas y tamaños, un ejemplo de ello es que 2 siglos a. de C. en Roma para la construcción del Partenón, se usó una mezcla de caliza calcinada, tobas volcánicas y rocas.

Es conocido que innumerables construcciones emblemáticas de distintas civilizaciones a lo largo de la historia tienen en común, la utilización de rocas y una mezcla de materiales cementantes.

Desde que el imperio romano cayo la utilización de cementates no tuvo gran cambio, hasta que en el siglo XVIII los ingleses ocuparon este tipo de materiales para rehabilitar el “Faro de Adystone”, de igual manera es conocido que Vicant en 1817 dio a conocer un proceso de producción de cemento, sin embargo, quien obtuvo la patente en 1824 fue Joseph Aspdin.

En 1817, Vicant, propuso por primera vez los métodos de fabricación del cemento, pero fue Joseph Aspdin, quien en 1824, obtuvo la patente para fabricarlo.

En ese momento comenzó una carrera por la fabricación de edificaciones que ejemplificarían la majestuosidad o poder de las naciones., para ello, los métodos de construcción y los materiales empleados evolucionaron en gran medida.

Con ello se desarrollaron procesos para minimizar tiempos de fabricación, creándose una tecnología de prefabricados, lo que reducía costos y de esta manera se puede controlar fácilmente la calidad de los elementos.

La industria de la construcción en nuestro país, representa una importante derrama económica, de igual forma estadísticamente podemos ver que la necesidad de nuevas viviendas está en aumento, esto se debe al constante incremento de la población en nuestro país y en el mundo.

Un organismo público autónomo responsable de normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es, así como de captar y difundir información de México en cuanto al territorio, los recursos, la población y economía, que permita dar conocer las características de nuestro país y ayudar a la toma de decisiones en el uso de materiales para la construcción. [1]

Los censos realizados en los anteriores años dan una noción del como la edificación es fundamental en nuestro país, así como del comportamiento estadístico que tienen la cantidad de la cantidad de viviendas que se deben construir.

Viviendas particulares habitadas

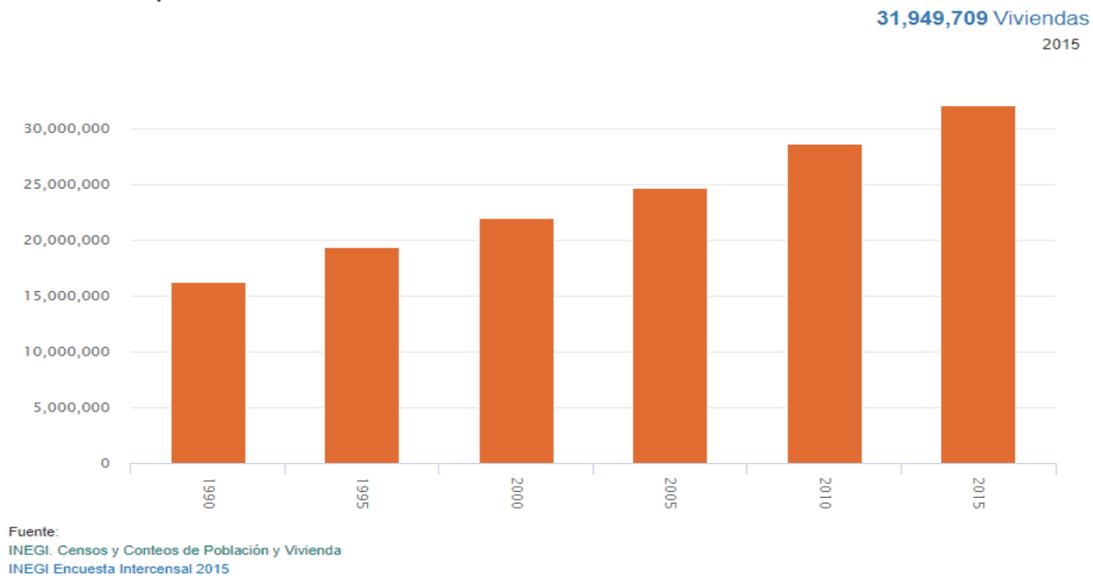


Figura 1 Viviendas particulares habitadas

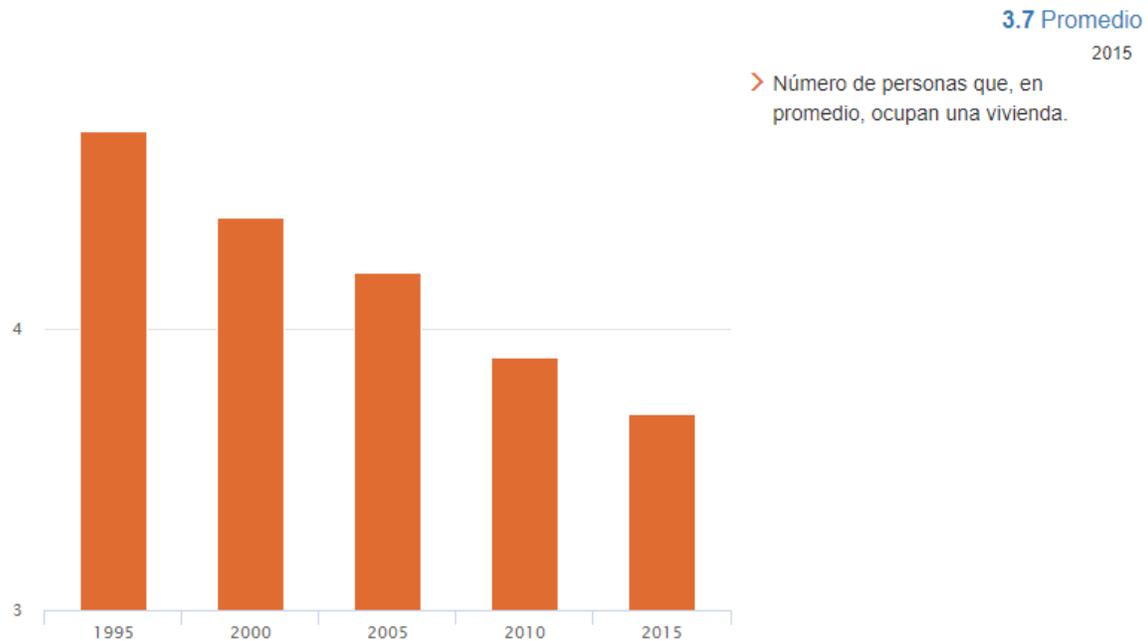


Figura 2 Número de personas que en promedio ocupan una vivienda

Con ayuda de las figuras 1 y 2, podemos interpretar que el modo de vida de los mexicanos a cambiado, pues la necesidad de más viviendas está en aumento, esto se debe a que en 1995 el número de personas, que en promedio ocupan una vivienda era de más de 5, y en 2015 acortó ese número a menos de 4, de aquí la importancia que tienen los materiales empleados para la construcción y en más específico para la creación de nuevas viviendas.

Los materiales de mayor demanda son el acero de refuerzo, concreto y blocks vibro-compactados para la construcción de viviendas en nuestro país. Estos últimos son prefabricados en plantas fijas que requieren control de la calidad de las mezclas utilizadas.

Sin duda en la actualidad podemos encontrar concretos de distintos tipos y aplicaciones, en el mercado, entonces ¿cuáles son las limitantes de la fabricación de blocks vibro-compactados?, esta pregunta es fundamental para la presente tesis.

Tenemos que comenzar por decir que los materiales de construcción para fabricar los blocks vibro-compactados son de un peso volumétrico considerable, es decir el traslado de los mismos es muy costoso.

El transporte de las materias primas, así como de los blocks, eleva el costo de los mismos, por tal motivo el constructor consume los productos de la región, esto significa que la producción de blocks preferentemente se realiza en lugares relativamente cercanos de los yacimientos de los materiales pétreos.

Existen distintas pruebas de calidad que se deben realizar a los blocks vibro-compactados, siendo las principales, la densidad bulk, la resistencia a la compresión y la permeabilidad. Dichas pruebas deben cumplir con lo estipulado por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) que es una Sociedad Civil reconocida a nivel nacional dedicada al desarrollo de las actividades de normalización, certificación y verificación, que tiene como propósito contribuir a la mejora de la calidad de los productos, procesos, sistemas y servicios. [2], además, los materiales pétreos, cemento, aditivos y el proceso de fabricación deben regirse bajo estrictos criterios de calidad.

Sin embargo, los materiales pétreos finos y gruesos (arena y grava), de cada región están limitados a los que se encuentran en la misma, esto limita a la densidad bulk (densidad total), la resistencia a la compresión y la permeabilidad, por lo que el uso de aditivos en las mezclas de concretos ayuda a mejorar este tipo de propiedades sin embargo aumenta el costo de producción.

Los aditivos en la construcción han sido empleados por décadas, estos tienen como objetivo modificar las características del concreto en su etapa fluida y en su etapa endurecida, un ejemplo de ello son los colorantes, los cuales modificaba el aspecto del concreto ya endurecido.

En las últimas décadas el uso de materiales de desperdicio, son utilizados en bajas proporciones, como materias primas en la construcción, siendo un tema de estudio para muchos investigadores, algunos de ellos principalmente de países desarrollados han evaluado la posibilidad de emplear ceniza volante como un sustituto y/o aditivo en concretos de alta resistencia, encontrando resultados favorables respecto a su resistencia a la compresión.

La ceniza volante es un residuo que se produce de la quema de carbón natural en los altos hornos de las termoeléctricas, estos desechos son depositados en áreas de confinamiento, una de sus principales características es que son partículas micrométricas lo que genera una contaminación al medio ambiente, por ello en 2003 Yasar E. y colaboradores, realizaron ceniza volante como aditivo para concretos ligeros, agregaron un 20% de ceniza volante y mejoraron la resistencia de una prueba testigo de 29 M Pa a 31 M Pa, de igual manera la densidad de los concretos sufrió un cambio de 1955 kg/cm³ a 1932 kg/cm³ [3].

La búsqueda de concretos de alta resistencia llevaron a investigadores a continuar trabajando con cenizas, en 2006 Hossain K. incorpora ceniza volcánica en la fabricación de concretos de alta resistencia, solo encontrando valores favorables con un 5 % de sustitución con un incremento en la resistencia de 79.5 M Pa a 82.4 MPa respectivamente [4].

Un dato constante en el uso de ceniza, son los bajos porcentajes en el que se emplean. En 2008 Chen B. y colaboradores realizan distintas pruebas con ceniza volante para concretos ligeros de alta resistencia, sustituyendo el cemento portland desde un 10 hasta un 40%, encontrando mejoras en la resistencia a la compresión entre un 10 y 20%, con valores superiores a una prueba testigo, esta con una resistencia de 50 M Pa, mejorando en 52.5 M Pa y 56 M Pa respectivamente [5]. Pero el uso de distintos materiales pétreos también es una variable, por ello en 2012 González Cuervo y colaboradores utiliza piedra pómez para la mejora de concreto estructural. [6]

La NOM-404.ONNCCE, clasifica los blocks estructurales de los no estructurales, determinando que por debajo de los 90 kg/cm² son no estructurales y los que alcanzan o rebasan este parámetro, son estructurales de igual manera en, 2013 García Giraldo, J. M y colaboradores determina a los bloques por arriba de los 30 M Pa como de alta resistencia y comerciales de 10 M Pa [7].

No debemos olvidar el apoyo al medio ambiente, por ello en 2015 Javier Flores Badillo y colaboradores fabricaron bloques utilizando residuos mineros como agregados finos, se reforzaron usando perlita expandida y pumucita como agregados gruesos y como agentes cementantes. Los bloques así producidos, se presentan al final de las resistencias de compresión establecidas iguales o superiores a tan solo 8 M Pa [8]

Al no encontrar bibliografía sobre el uso de ceniza volante en la fabricación de blocks de concreto, por los resultados reportados y por la necesidad de cumplir con la normativa aplicable en el país, en este trabajo se propone emplear ceniza volante, como sustituto y/o aditivo en concretos para la fabricación de vibro-compactados y evaluar su densidad bulk, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, bajo la normativa ONNCCE.

Justificación

A pesar de la existencia de distintas normas que rigen la fabricación de blocks como **NMX-C-038** (determinación de las dimensiones de bloques y ladrillos), **NMX-C-037** (determinación de la absorción de agua), **NMX-C-036** (resistencia a la compresión), **NMX-C-404** (especificaciones y métodos de prueba), La mayoría de los consumidores no pueden revisar si los blocks que compran, cumplen con la norma.

La poca o nula aplicación de las normas, da como resultado blocks de mala calidad donde los parámetros como densidad, resistencia a la compresión y absorción inicial, son muy dispersos.

La creciente necesidad de disminuir costos de transporte, simplificar los métodos constructivos cumpliendo las normas aplicables y aumentar la resistencia de los bloques, nos lleva a buscar la fabricación de elementos prefabricados de fácil uso, bajo peso y que cumplan las normas.

Por ello el estudio de la ceniza volante como aditivo o sustituyente del cemento portland ordinal, nos proporcionará resultados con los que se podrá discutir su efectividad para modificar la resistencia a la compresión, densidad bulk y la absorción por capilaridad de los blocks vibro-compactados.

Hipótesis

La ceniza volante en bajos porcentajes de sustitución respecto al cemento (5% a 15%), afecta positivamente, las propiedades de resistencia a la compresión, densidad bulk y a la absorción por capilaridad de los blocks vibro-compactados ya endurecidos durante los 28 días de fabricación.

Objetivos

General

Utilizar la ceniza volante como un aditivo y/o sustituto en una mezcla de concreto para la fabricación de blocks de concreto (vibro-compactados), para evaluar su eficiencia estructural.

Específicos

1. Caracterizar los materiales pétreos y ceniza volante, por técnicas físico-químicas como Difracción de Rayos X (DRX), Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), para obtención de información de los mismos.
2. Fabricar blocks de concreto (vibro-compactados), usando ceniza volante como aditivo, para evaluar sus propiedades estructurales.
3. Determinar la resistencia a la compresión, densidad bulk y la absorción por capilaridad de los diferentes blocks elaborados, por medio de ensayos, al margen de las normas ONNCCE, para determinar el porcentaje más adecuado de la ceniza volante.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES

Ceniza volante

Para comenzar a hablar sobre la ceniza volante es primordial definirla. La norma ASTM-C-618-03 define este término como: “El residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón mineral o finamente molido y que es transportado en el flujo gaseoso”.

Para evitar algunas confusiones también nos expresa que no son: (1) la quema de basura municipal o algún otro tipo de basura con carbón; (2) la inyección de cal directamente dentro del calentador para remover azufre; o (3) la quema de basura industrial o municipal en incineradores comúnmente llamados “incineradores de ceniza.

Por tales motivos podemos definir íntegramente la ceniza volante como como un sub-producto que se genera de la quema de carbón finamente molido, usado en termoeléctricas para la generación de electricidad.

Ya que hablamos de electricidad y que este producto se produce en plantas termoeléctricas, pero ¿Qué es una termoeléctrica? ¿Qué tipos de termoeléctricas hay? Y aún más importante ¿México es un gran productor de electricidad?

Comencemos por decir que una termoeléctrica es aquella planta que, con ayuda de un combustible que comúnmente es carbón, gas natural o combustibles fósiles y en menor uso, pero también empleados como la energía nuclear y geotérmica, generan calor y este es conducido por convección a contenedores de agua para la producción de vapor, este último mueve grandes turbinas que finalmente hacen funcionar un generador de electricidad y con ayuda de más dispositivos como transformadores y conductores eléctricos, la electricidad es transportada a las viviendas o industria.

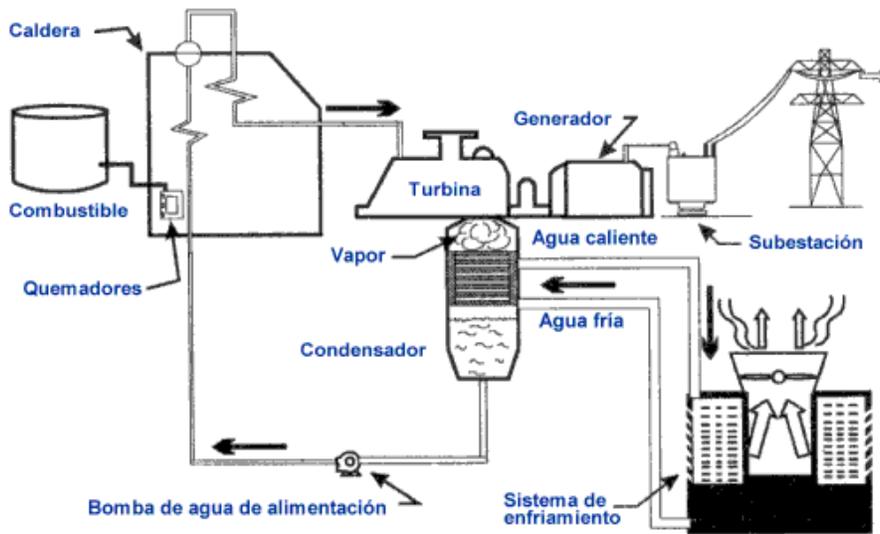


Figura 2. Esquema de una central termoeléctrica convencional

Figura 3 Esquema de una planta Térmica

La diferencia de una central termoeléctrica y otra, depende de que combustible empleado y el proceso de cada planta, ejemplo de ellos son las nucleoeeléctricas que para la producción de calor usan la radiación de un proceso nuclear, la geoeeléctrica que usa el calor generado por la tierra, etc. Las plantas que usan como combustible al carbón mineral se les denomina carbo-eléctricas y en estas es donde se realiza la producción de cenizas volantes.

ESQUEMA DE UNA CENTRAL CARBOELECTRICA.

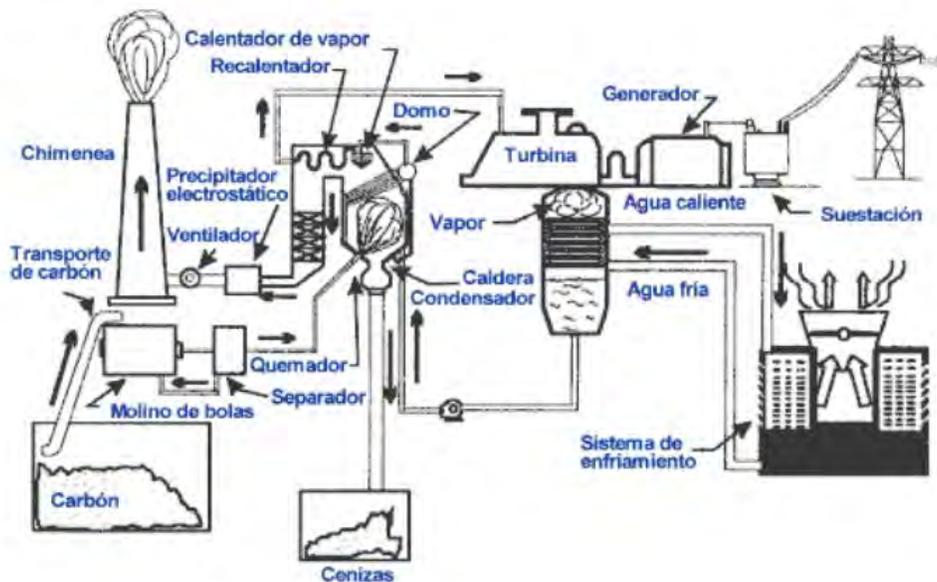


Figura 4 Esquema de una central carbo-eléctrica

México no se encuentra dentro de las grandes potencias productoras de electricidad, pero eso no significa que su producción sea despreciable, pues genera 166 (miles de millones kWh) y el 8% lo representan las carbo-eléctricas del país, las cuales son dos, Carbón II y Río Escondido (José López Portillo) ubicadas en Coahuila.

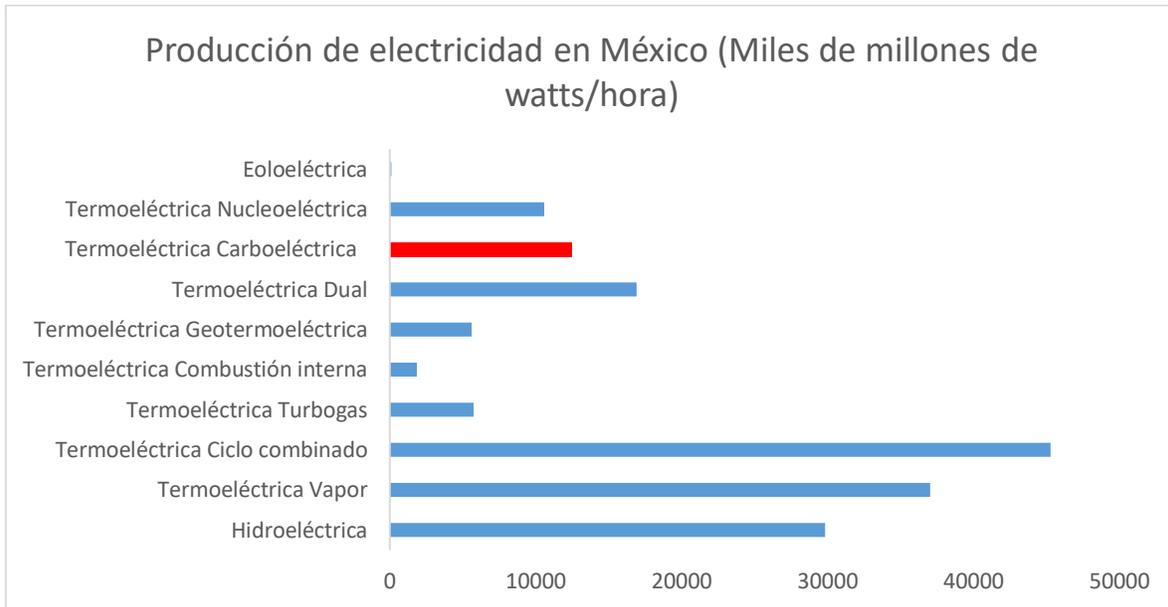


Figura 5 Producción de electricidad en México. INEGI

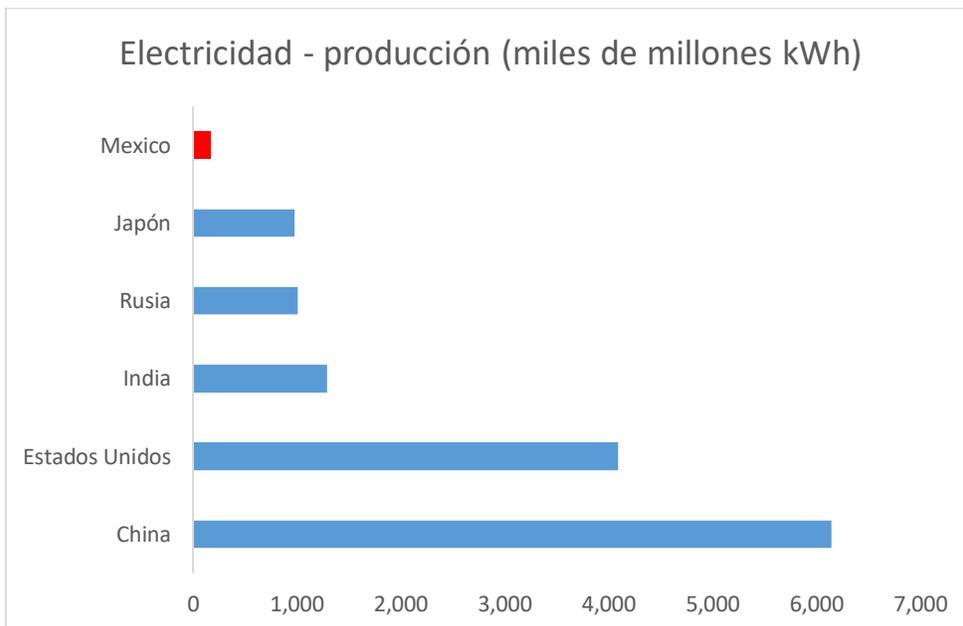


Figura 6 Producción de electricidad en el mundo

A pesar de que México no se encuentra dentro de los primeros lugares, no por ello deja de ser relevante el hecho de que los subproductos generados de por el sector eléctrico son contaminantes al medio ambiente.

National Geographic publica una investigación llamada “Buscando un futuro más seguro para la ceniza desechada de las centrales eléctricas de carbón” en la cual revela datos que son de gran impacto. Las cenizas volantes y otros residuos del carbón quemado suman uno de los grupos de desechos más importantes de los Estados Unidos: Más de 136 millones de toneladas al año. En Europa, el residuo del carbón suma un total de 100 millones de toneladas al año, según algunas estimaciones. Esos mismos datos no están disponibles en el caso de China, los científicos de la Academia de Materiales de la Construcción de China y el Instituto de Información Técnica de la Industria de Materiales de la Construcción calculan que su país ha acumulado 2.500 millones de toneladas de ceniza producto de la quema de carbón. [3]

Durante años, estas cenizas han cubierto grandes extensiones de terreno lo que es nocivo para las aguas subterráneas, pues cuando el agua de lluvia entra en contacto con estas cenizas, posteriormente se filtran, arrastran partículas nocivas, contaminando tanto la tierra como el agua presente en los subsuelos.

Por la cantidad de ceniza que se genera y lo nocivo para el medio ambiente, es importante el estudio y aplicación de estos residuos de las carbo-eléctricas, pues su producción difícilmente se detendrá, por el contrario, está en aumento.

Tipos de carbón

El carbón es la materia prima de las carbo-electricas, por ello es importante decir que este es un mineral, es una roca clasificada como sedimentaria, formada por el depósito de restos vegetales en zonas pantanosas, este es también un combustible fósil, de color negro y con una gran cantidad de carbono. Su gran uso se debe principalmente a que es el más abundante en el planeta.

La clasificación del carbón depende principalmente del porcentaje que contiene de carbono, podría incluso decirse que este porcentaje representa su calidad.

Tipos de carbón	
Nombre	% de carbono
Turba	50 al 55
Lignito	55 al 75
Hulla	75 al 90
Antracita	más de 90

Tabla 1 Tipos de carbón respecto al contenido de carbono.

En la tabla 1 podemos ver cuatro tipos de carbón que van desde el que menos porcentaje contiene de carbono que es la Turba hasta el de mayor porcentaje la

Antracita, es importante mencionar que para la producción de electricidad el más usado es la Hulla.



Figura 7 Mina de carbón a cielo abierto "El Cerrejón" en Colombia

La figura 7 muestra una mina de carbón a cielo abierto “El Cerrejon” en Colombia, a pesar que el carbón es un mineral abundante en la planta, este en ocasiones no es fácil de extraer.

Producción de ceniza volante

Una vez teniendo la materia prima, comienza todo un proceso que inicia con la pulverización como podemos ver en la figura 4 en la que se muestra el esquema de una central carbo-eléctrica. El método que se emplea en la actualidad en la quema del carbón es el sistema de combustión en hogar de carbón pulverizado, que consiste en inflamar el carbón finamente molido y mantenido en una suspensión de polvo fino en un hogar abierto. Los modernos quemadores de carbón pulverizado (PC) permiten lograr una alta eficiencia de ignición y unas bajas emisiones de gases. El régimen de quema del carbón se controla, en gran medida, por la superficie global que ofrece el conjunto de las partículas de combustible; con una pulverización del carbón equivalente a partículas con diámetro de 50 micras o menos, el carbón de cada partícula se puede consumir por completo en 1 o 2 segundos, aproximadamente.

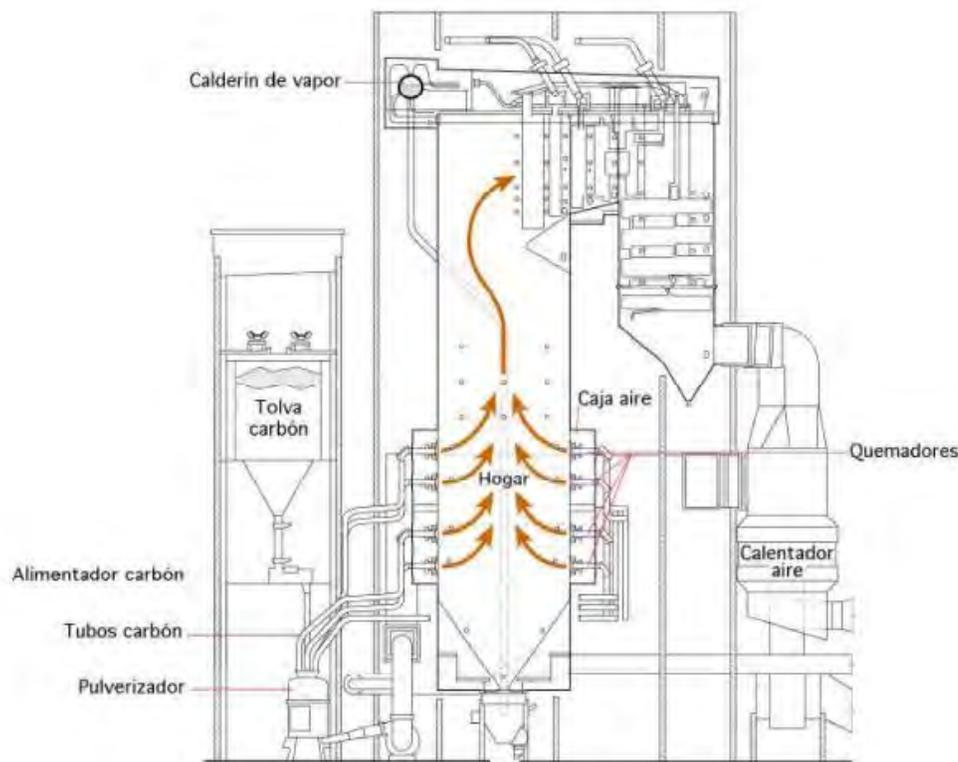


Figura 8 Sistema de combustión del carbón pulverizado

La forma de quemar el carbón pulverizado depende de la categoría y propiedades del mismo, y de las particulares condiciones del hogar correspondiente. Cuando una partícula de carbón entra en el hogar, su temperatura superficial aumenta debido a la transferencia de calor por radiación y convección, desde los dos tipos de fuentes:

- Gases (humos) del hogar

- Otras partículas que se encuentran en combustión

Conforme aumenta la temperatura de la partícula, la humedad de la misma vaporiza y las materias volátiles se desprenden, inflaman (ignición) y queman casi inmediatamente, aumentando la temperatura de la partícula residual, identificada normalmente como subcoque (char), que se consume a alta temperatura, dejando como residuo el contenido en ceniza y una pequeña parte de carbono no quemado (inquemado). fuente

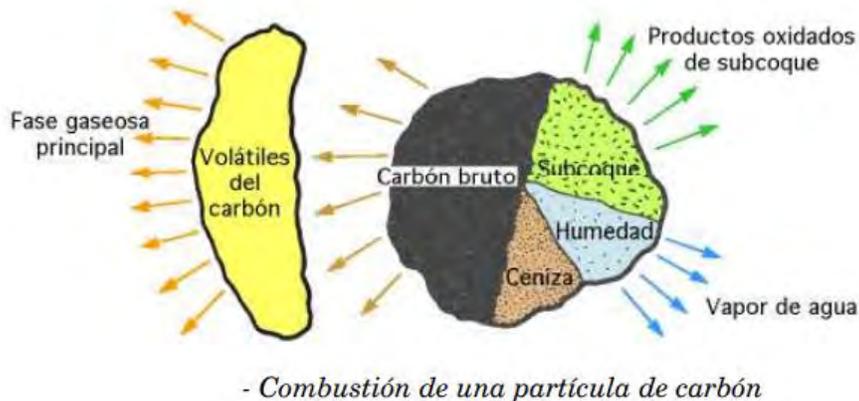


Figura 9 Combustión de una partícula de carbón

El proceso de la quema de carbón:

El aire primario, tiene temperaturas entre 130 y 200°F (54 ÷93°C), transporta el carbón pulverizado directamente desde el pulverizador hasta los quemadores, a un régimen de velocidad que fija el correspondiente control de combustión, conforme a los requisitos de la demanda.

El aire secundario se suministra por los ventiladores de tiro forzado y se precalienta hasta unos 600°F, la mayor parte se suministra a las cajas de aire que envuelven a los quemadores.

El aire secundario suministrado a los quemadores se mezcla con el - carbón pulverizado (aire primario de transporte), en la garganta del quemador, lo que permite que el carbón ignicione y comience a quemarse iniciándose el proceso de la combustión continua, los gases y el combustible no quemado se mueven desde la boca del quemador hacia el eje vertical del hogar de la caldera, por el que ascienden. El quemado final del subcoque depende de: las propiedades del carbón, la finura de las partículas, el exceso de aire, la mezcla aire + combustible y el medio ambiente térmico.

Finalmente, los productos de la combustión abandonan el hogar y penetran en el paso de convección de la caldera, tras ser enfriados lo suficiente para minimizar el ensuciamiento de las superficies de convección.

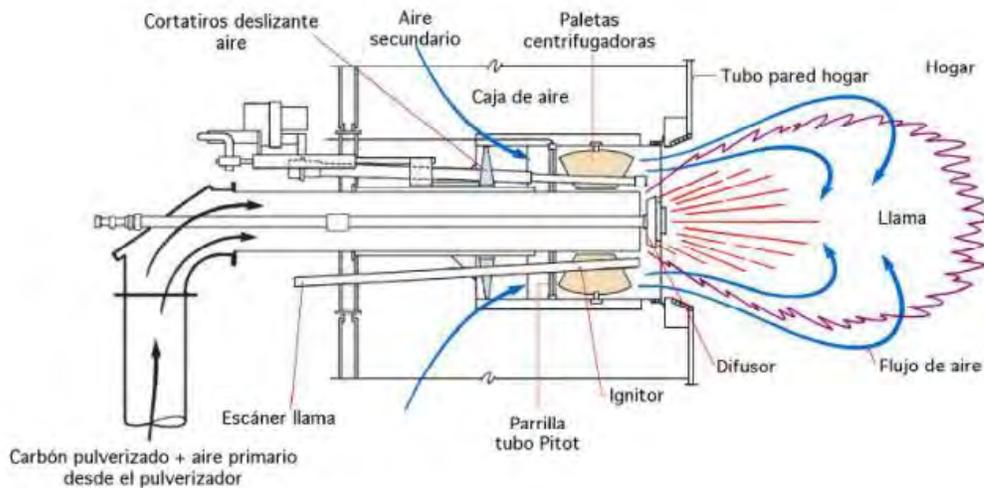


Figura 10 Principios fundamentales del quemador

Obtención de ceniza volante

Una característica de los combustibles fósiles es que todos con excepción del gas natural esta, tienen un porcentaje de materia no combustible también llamada ceniza, esta es transportada por los gases producidos por la quema de los combustibles, en este caso del carbón.

Debido a que estas partículas de ceniza están consideradas como un contaminante para el medio ambiente, los humos producidos den ser filtrados para quitar estas cenizas que reciben el nombre de volante por ser transportadas por los humos. Existen distintos tipos de filtros para sustraer estas partículas del flujo gaseoso, estos pueden ser:

- Precipitadores electrostáticos
- Filtros de tela o cámaras de sacos
- Colectores mecánicos
- Depuradores Venturi

Los filtros más usados para la recuperación de cenizas volantes son los precipitadores electrostáticos, estos usan placas sobre las cuales circulan los humos producidos de la quema de carbón para cargar las partículas electrostáticamente, de esta manera la ceniza puede adherirse a una superficie de contacto, para su posterior recolección.

Diariamente se generan cantidades considerables de ceniza volante debido al alto consumo de carbón, la combustión de 1 Ton de carbón genera un promedio de entre 80 a 250 Kg de residuos, esto depende del tipo de carbona si como de las condiciones de ignición.

Cemento

Hablar del cemento es hablar casi en su totalidad de la historia del hombre, desde que tuvo la necesidad de vivir en un lugar seguro y con las mayores comodidades el cemento se encuentra presente. Una vez que el hombre sale de las cavernas, este se ha esforzado en primera instancia en cubrir sus necesidades de vivienda y después algunas otras construcciones con características específicas como caminos, templos o palacios.

Aplicaciones generales

El cemento es el principal ingrediente de concreto, a su vez el cemento portland ordinal es el más empleado en el mundo, debido a las propiedades físicas que le otorga al concreto, en general las piezas o el uso de concreto se da en condiciones normales, es decir estará expuesto a condiciones ambientales, algo para lo cual está previsto el cemento portland. Aunque existen algunos casos donde este cemento debe propiciar distintas características específicas al concreto, como por ejemplo una sala de cirugía, un muelle en el mar o un cuarto para material radioactivo, en estos casos el cemento no podrá ser portland ordinario, pero sin embargo este tiene una infinidad de aplicaciones, como son:

- Tuberías de drenaje
- Blocks de concretos (materiales vibro-compactados)
- Plantas de tratamiento de aguas negras
- pavimentaciones
- Obras subterráneas
- Cortinas y vertedores de presas
- Canales a cielo abierto
- Edificación
- Puentes

Proceso de fabricación

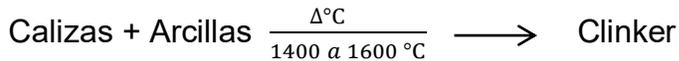
Es conocido que el cemento es producto de la calcinación de materiales sillico – calcáreos finamente triturados que son calcinados a temperaturas entre los 1400 y 1600 °C, para producir el famoso “Clinker” que finalmente es molido finamente en presencia de yeso, en este momento recibe el nombre de Cemento Portland. Podemos dividir el proceso de fabricación del cemento en tres grandes etapas:

1. Extracción, molienda y mezcla de materiales crudos

Como el nombre lo dice en esta etapa se extraen los minerales necesarios que serán usado como materia prima, principalmente se necesitan materiales calcáreos que aporten oxido de calcio (CaO) así como materiales arcillosos que serán fuente de silicio (Si), aluminio (Al) y Hierro (Fe), esta materia prima será molida y mezclada.

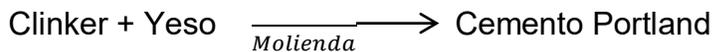
2. Proceso de calcinación

En esta etapa ya las materias primas se encuentran molidas y son sometidas a temperaturas entre los 1400 a 1600 °C, a estas temperaturas se llevan a cabo las reacciones químicas que le otorgan las propiedades características del cemento, en este punto al producto obtenido se le llama "Clinker"



3. Molienda

Al Clinker obtenido en la etapa dos se le agrega de un 3 a 5% de yeso con el fin de controlar la velocidad de hidratación (este proceso cuando se pone en contacto el agua con cemento), posteriormente es finamente molido. En este punto podemos denominarlo cemento portland.



Una vez se obtiene el cemento Portland pasa por un proceso de empaquetado, comercialmente en sacos de 50 kg, o a granel que es transportado por góndolas secas.

Tipos de cemento portland y composición química

Existen básicamente cinco tipos de cemento que principalmente se distinguen por su composición.

Tipo I: es el cemento portland ordinal y el más usado en la construcción de viviendas, edificios, puentes, etc. Y este es usado cuando no en el diseño de construcción no se especifica el uso de un cemento especial o de otro tipo.

Tipo II: este cemento se distingue por tener cierta tolerancia a los sulfatos (sales), su uso más común es en tuberías de drenaje o puentes.

Tipo III: la principal característica de este cemento es que su resistencia a la compresión a los tres días igual a la que se obtendría con un cemento del tipo I o II, este cemento se usa cuando en la pieza que se desea fabricar se requiere desmoldar (retirar del molde) en un corto tiempo.

Tipo IV: es usado principalmente usado en sitios donde el concreto en estado fresco estará bajo temperaturas ambientales altas y se requiera un bajo calor de hidratación (calor producido al combinar el cemento con el agua), generalmente se utiliza en piezas donde se requiere un gran volumen de concreto.

Tipo V: principalmente se usa para la fabricación de estructuras portuarias, por su alta tolerancia a los sulfatos.

De igual manera los cementos pueden clasificarse por acrónimo el cual describe su composición o especificaciones de uso, como podemos ver en la tabla 2 que a continuación se muestra

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Tabla 2 Tipos de cemento

Como podemos observar en la tabla 3, los dos principales óxidos son el óxido de calcio CaO y el óxido de silicio SiO₂, pues la suma de estos representa el 85 % de la totalidad de óxidos presentes en el cemento, cabe mencionar que estos porcentajes pueden cambiar dependiendo de las proporciones con las que se mezclen las materias primas para la fabricación.

Óxido	% Peso	Nombre
CaO	63	Óxido de Calcio
SiO₂	22	Óxido de Silicio
Al₂O₃	6	Óxido de Aluminio
Fe₂O₃	2.5	Óxido Férrico
MgO	2.6	Óxido de Magnesio
K₂O	0.6	Óxido de Potasio
Na₂O	0.3	Óxido de Sodio
SO₃	2	Anhídrido Sulfúrico

Tabla 3 Composición química del cemento

Cemento Portland Ordinario (CPO) para la fabricación de blocs vibro-compactados

El cemento portland ordinario tipo I, cumple básicamente los mismos principios que los otros tipos de cemento, sin embargo es reconocible que este cemento tiene una baja tolerancia a los sulfatos y una calor de hidratación considerable, sin embargo esto no significa que el concreto donde sea empleado no pueda tener tolerancia a los sulfatos y baja temperatura de hidratación, esto se lograría con el uso de aditivos que beneficien dichas propiedades.

El cemento más empleado en la albañilería es el cemento portland ordinal en la clasificación 30R pero también existe un 40R la principal diferencia es el comportamiento en la prueba de resistencia a la compresión. Como podemos ver en la figura 11 donde se grafica la resistencia a la compresión contra la edad de los blocks, estos tienen un distinto comportamiento en las curvas de resistencia, pues

mientras en un CPO-30R a los 7 días alcanza 30 N/mm², en el CPO-40R a los mismos 7 días alcanza 40 N/mm².

Para la fabricación de blocks de concreto vibro-compactados se utiliza cemento CPO-40R por los procesos de producción y el tipo de fraguado al que son expuestos, es ideal pues el hecho de que la resistencia a la compresión la alcance en una menor cantidad de tiempo. El fraguado al realizarse generalmente en condiciones no idóneas de humedad y temperatura, es deficiente, el principal problema es la deshidratación de los blocks que aumenta con el tiempo, por lo que entre más rápido se alcance la resistencia a la compresión la falta de humedad no será un problema considerable.

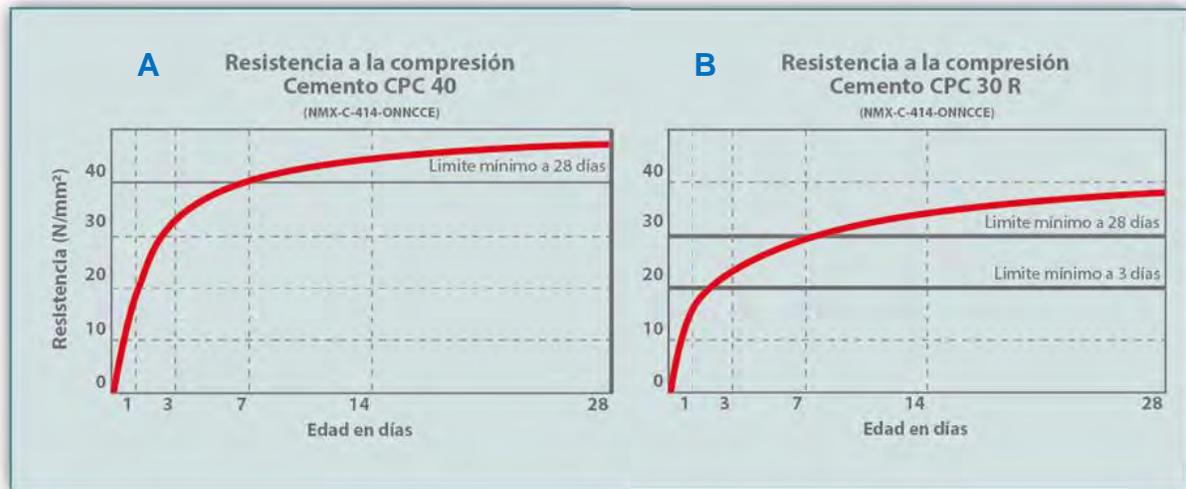


Figura 11 Comparativa de resistencia a la compresión de CPO 40 y CPO 30

El cemento CPO-40R es la mejor alternativa dentro de los cementos comerciales, para la fabricación de vibro-compactados en específico de los blocks de concreto, con ayuda de un diseño ideal los moldes para fabricar los blocks pueden retirarse casi instantáneamente.

En la figura 11 observamos la comparativa de resistencia a la compresión respecto de la edad de los especímenes, como podemos apreciar en el apéndice, A donde se aprecia al CPO 40 y en el B el CPO 30, es visible que el CPO 40 alcanza mayor resistencia a los 7 días respecto al CPO 30 a los mismos 7 días.

Materiales pétreos empleados en la fabricación de vibro-compactados (blocc de concreto)

Los materiales pétreos usados en la construcción son variados que van desde los más comunes como pueden ser arenas y gravas a los más lujosos como granitos y mármoles, estos dos últimos más utilizados como un aspecto decorativo.

Este tipo de materiales tiene características que facilitan su uso tales como una alta tolerancia a la oxidación, temperaturas de fusión altas, de un costo relativamente bajo y en su mayoría son inertes (no tóxicos).

Par el caso de los vibro-compactados en específico los blocks de concretos son usadas la arena y grava que son clasificadas como rocas de sedimentarias, esto significa que este material ha sido arrastrado por distintos factores atmosféricos y se depositaron en determinadas zonas, este tipo de rocas se presenta en forma de estratos, una característica es que pueden fracturarse con relativa facilidad.



Figura 12 Tipos de materiales pétreos.

Los materiales pétreos utilizados para la fabricación de blocks de concreto vibro-compactados en plantas de mediana y gran producción son directamente comprados en los yacimientos, evitando así los intermediarios para la adquisición de estos materiales, la ubicación de estos determina la calidad de los mismos, vale la pena recordar que los blocks de concreto son fabricados en plantas ya fijas, por lo que las distancias de la planta al yacimiento de los materiales, influye directamente en el costo de los mismos para su adquisición y esto impide que se pueda de cambiar de mina fácilmente. Pues estos yacimientos ya están establecidos en cualquiera que sea la región.

Aditivos

Los aditivos para el concreto son sustancias que pueden ser orgánicas o inorgánicas, las cuales tienen el objetivo de modificar las propiedades del concreto en cualquiera de sus estados (fresco, fraguado y endurecido), la presentación de estos puede darse en líquido o polvos.

Algo que se debe puntualizar de los aditivos es que estos a diferencia de los materiales pétreos, cemento y agua, no son indispensables para fabricar un concreto, sin embargo su uso se extiende cada vez más, pues con ayuda de estos el concreto puede adaptarse a las condiciones de la obra sin hacer grandes modificaciones a la proporción de las materias primas.

Otro tipo de modificaciones que se puede dar al concreto son el cambio de color y la inclusión de aire, este tipo de agentes estrictamente no se consideran aditivos, pero sin embargo es importante mencionarlos, pues su presencia modifica las características del concreto.

Las principales razones para el uso de aditivos son

1. Disminuye los costos que implican la fabricación de concreto.
2. Cuando para obtener cierta propiedad en el concreto resulta más económico con el uso de un aditivo.
3. Poder garantizar las especificaciones del concreto en sus distintos estados (fresco, fraguado y endurecido).
4. Cuando existe la necesidad de corregir contratiempos en el transporte o colocación del concreto.

Relación agua-cemento

Esta relación la podemos definir como la razón entre la cantidad efectiva de agua y cemento, la cantidad efectiva de agua es la diferencia entre el total de agua contenida en la mezcla y la absorbida por los materiales pétreos.

La relación agua cemento es la que determina la resistencia a la compresión de los bloques vibro-compactados, pero por el tipo de proceso esta relación es muy baja pues se requiere de una mezcla seca, lo que provoca que la cantidad de agua que se agrega en la mezcla sea muy específica, pues un exceso de esta daría a la mezcla un incremento en la plasticidad, lo que impediría que el bloque en estado fresco o inicial mantenga la forma determinada por el molde usado, y si la cantidad de agua es inferior a la requerida el cemento no tendrá con quien hidratarse dando como resultado bloques de baja resistencia a la compresión.

Concreto

El concreto es la mezcla de cemento, materiales pétreos, agua y aditivos.

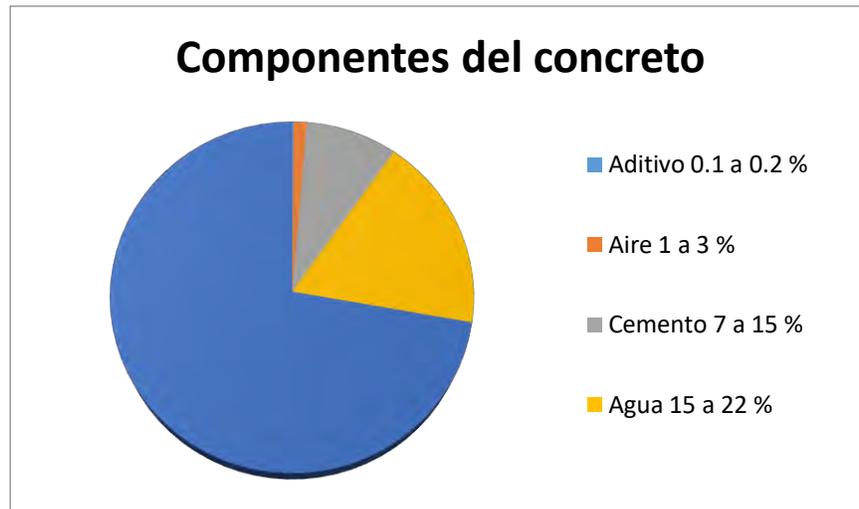


Figura 13 Componentes del concreto

Depende de su uso y de los materiales presentes en la mezcla se pueden clasificar en:

- **Concreto Simple:** la principal característica de este concreto es que no contiene en su interior ningún tipo de acero ya sea de refuerzo o de presfuerzo, su uso es para la fabricación de piezas de baja resistencia.
- **Concreto Ciclópeo:** al igual que el concreto simple no contiene acero, pero lo que destaca a este tipo de concreto es el uso de rocas de gran tamaño, su uso más común es en cimentaciones.
- **Concreto Armado:** como su nombre lo dice es aquel que contiene en su interior acero que le dará una mayor resistencia a la compresión, generalmente se emplea en piezas estructurales, es decir que estará sometidas a grandes cargas.
- **Concreto Premezclado:** lo que distingue a este concreto es el lugar donde se realiza su mezclado, pues este no se encuentra donde será su disposición final del concreto. Si no es distinto al sitio de fabricación. Con este método se tiene un mayor control sobre la mezcla.
- **Concreto Prefabricado:** cuando hablamos de este tipo de concreto, significa que el elemento fue fabricado en una planta de producción, donde el control de calidad es más controlado. Un ejemplo de ello son los blocks de concreto vibro-compactados.

También podemos definir los estados del concreto en:

Estado fresco. Es cuando el concreto puede ser moldeable, es blando y puede ser trabajado con facilidad.

Estado fraguado. Cuando el concreto ya no es blando comienza la etapa de fraguado, aunque puede seguir trabajándose superficialmente, es decir puede darse los acabados deseados en esta etapa.

Estado endurecido. El concreto ya tiene resistencia, es totalmente duro ya no permitirá ninguna modificación de forma.

La clasificación y los estados del concreto son relevantes pues la característica de los blocks depende del tipo de concreto empleado y el estado en el que se encuentre.

Para la fabricación de blocks de concreto vibro-compactados, se utiliza un concreto simple y con una consistencia seca.

En la tabla numero 4 podemos observar las distintas consistencias que puede tener un concreto fresco según su revenimiento (asentamiento en relación al cono de Abrams), entre mayor sea el asentamiento respecto del cono mayor será la fluidez del concreto.

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca	0 – 2
Plástica	3 – 5
Blanda	6 – 9
Fluida	10 – 15
Líquida	16 – 20

Tabla 4 Clasificación de una mezcla de acuerdo a su revenimiento.

Los concretos de asentamiento nulo (mezcla-seca), son los más empleados para los vibro-compactados, cabe hacer mención que debido a esto la prueba de revenimiento no genera valores significativos, por lo que escasamente se emplea.

La prueba de revenimiento se lleva a cabo mediante el cono de Abrams, que es un instrumento troncónico que permitirá medir la fluidez del concreto en estado fresco. El ensayo radica en llenar de concreto el cono en tres capas a cada capa colocada se deben hacer 25 penetraciones con una varilla de punta de bala, por último se retira el cono y coloca a un lado del concreto, donde se miden las alturas del concreto y del cono y la diferencia de esta será in índice de revenimiento

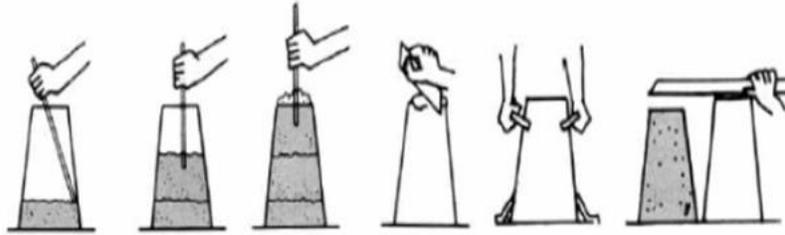


Figura 14 Procedimiento para cálculo de revenimiento.

Maquinas vibro-compactadoras para blocks de concreto.

La producción de máquinas para blocks vibro-compactados se han desarrollado en todos los continentes debido a la necesidad de la construcción de viviendas, estas máquinas van desde manuales que promedian una producción de 200 piezas por turno de 8 horas hasta maquinas van industrializadas que la mano de obra es mínima y llegan a producir hasta 20 mil pizas por turno.

La invención de una máquina con moldes removibles ajustables, capaz de producir bloques sólidos, fue toda una revolución en la industria moderna encargada de la fabricación de bloques de concreto, y fue empleada por primera vez en 1832, por el constructor William Ranger, en Inglaterra. [10]

En la actualidad la fabricación de blocks de concreto se lleva a cabo en todo el mundo por la necesidad de construir viviendas a un bajo costo.

En México podemos encontrar distintos tipos de maquinaria para la fabricación de blocks, los cuales los podemos dividir en tres grandes rubros.

Ponedoras son máquinas hidráulicas en las se necesita gran cantidad de espacio pues estas se desplazan sobre una superficie de concreto nivelado el cual funciona como cimbra para los blocks dejando un lote de estos cada vez que se desplaza. Un inconveniente es que por la gran cantidad de terreno requerido este se encuentra descubierto, dejando las piezas a la intemperie.

Estacionarias, las principales características de estas máquinas es que son fijas, requieren placas metálicas o de madera donde se colocan los blocks, una vez en están los blocks en estas placas se retiran y se colocan otras, repitiéndose este proceso una y otra vez, estos son colocados es estantes minimizando así la cantidad de espacio requerido.

Plantas Estacionarias Automáticas, estos sistemas son usados por plantas de mediana a alta producción, el uso de mano de obra se minimiza, aunque los operarios deben estar calificados. Las más sofisticadas tienen sensores de humedad, controlan la presión de los pisones, frecuencia y tiempo de vibrado así como la dosificación de aditivos, para el buen control de estos equipos es indispensable un laboratorio de calidad.

El poder tener una vibración controlada, así como la presión del pisón, es de suma importancia, pues la granulometría y relación agua – cemento, pueden cambiar y si la maquinaria tiene la capacidad de manipular la vibración dará como resultado blocks de mejor calidad.



Figura 15 Maquina Vibro-compactadora ponedora.

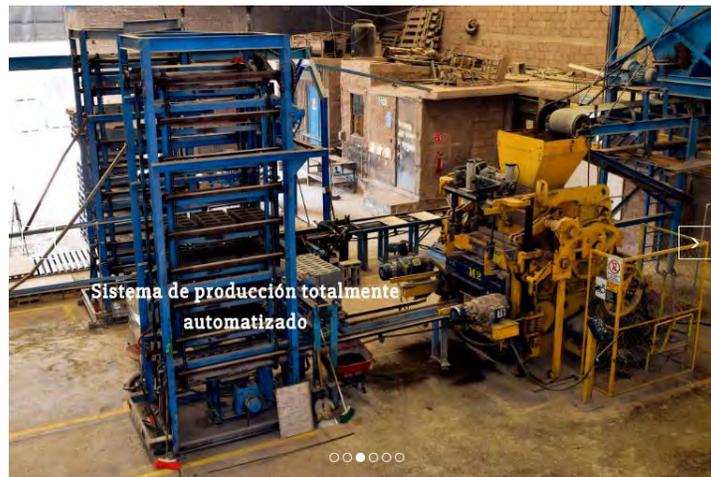


Figura 16 Maquina Vibro-compactadora estacionaria y automática

La vibro-compactación en el concreto

La vibro-compactación reduce la cantidad de espacios vacíos en el block de concreto, así como ayuda al acomodo de las partículas de los agregados. Pero también en un exceso puede generar segregación de los materiales, la segregación es la separación de los materiales en finos y gruesos. Es decir que las partículas más grandes quedaran separadas de las más pequeñas lo que genera una mezcla no homogénea del concreto.

La vibración está determinada por su frecuencia y Amplitud. Frecuencia es el número de impulsiones o pequeños golpes a que se somete el concreto en un minuto y la amplitud es el máximo desplazamiento de la superficie vibrante entre dos impulsiones [11]

Un factor de considerable importancia es el tiempo que dura el proceso de vibración, cuando una maquina vibro-compactadora no se puede modificar la frecuencia y la amplitud, el tiempo será la única variable que se puede controlar. Este tiempo depende, de la frecuencia de vibración, de la granulometría de los agregados, de la relación agua - cemento de la mezcla; al aumentar la frecuencia disminuye el tiempo de vibrado, sin embargo, la vibración muy enérgica y prolongada puede producir efectos desfavorables en los blocks de concreto.

El uso de la vibración en el concreto usado de manera correcta beneficia algunas características físicas como:

Compacidad

Para poder realizar el mezclado del concreto se emplea más agua de la esencialmente requerida para la correcta hidratación del mismo, esto se realiza así para dar la trabajabilidad al concreto, el agua restante no utilizada para la hidratación del concreto se evapora, dejando una gran cantidad de poros, al usar una vibración en el concreto se minimiza la cantidad de agua empleada.

Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un concreto está en función de su compacidad, la granulometría juega un papel muy importante con una granulometría continua y una relación agua - cemento, completados por una correcta vibración, se obtiene un concreto altamente impermeable. La absorción de agua de un concreto vibrado es aproximadamente la mitad de la correspondiente al concreto no vibrado.

Resistencia mecánica.

Esta propiedad es la más importante pues si no se alcanza la resistencia a la compresión, la pieza deberá desecharse, una vibración adecuada mejora esta propiedad respecto de un concreto no vibrado.

Desmolde rápido.

Sin duda para la fabricación de blocks de concreto se requiere que el molde la pieza se retire del molde practicante de manera instantánea, la vibración sin duda es el aspecto más importante que da oportunidad a que esto suceda,

Blocks de concreto

Los blocks de concreto suelen llamarlos también bloques o piezas de mampostería, el uso más común que tienen es la construcción de muros y paredes sin embargo puede llegar a emplearse como contenciones, etc.



Figura 17 Blocks de concreto de cada clasificación

Por definición un block de concreto es una pieza prefabricada, los más comunes los sólidos y huecos. Los tamaños y formas de los bloques más usados en el mundo, se han convertido en un estándar para garantizar la construcción uniforme de los edificios. En México está regido por la norma MX-C-038-ONNCCE-2013 Procedimiento para determinación de las dimensiones. Las medidas o dimensiones de los blocks de concreto más comunes se encuentran estandarizados en 10x20x40 cm, 12x20x40 cm, 15x20x40 cm y 20x20x40 cm.

Sin embargo algunos fabricantes de blocks ofrecen alguna característica especial que sobre sale de lo estándar, como un diseño personalizado para dar una característica única. Un ejemplo de esto son los blocks usados en la barda perimetral del instituto de ciencias básicas (ICBI) perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, donde una de las caras de estos tiene una forma irregular, esta característica se logra fabricando un block del doble de largo y con una maquina especial se troncha por la mitad, dejando esta irregularidad sin un patrón establecido.



Figura 18 Block de cara tronchada

Los blocks al ser elementos prefabricados sus dimensiones y características pueden ser tan variadas que enlistarlas sería una tarea casi imposible, sin embargo podemos clasificarlos en tres grandes grupos.

Macizos: son aquellos que no tienen ninguna cavidad ni protuberancia en sus caras, quizás sean los más usados en el país.



Figura 19 Block de concreto macizo.

De gafa: Son el modelo más usual, por su fácil manipulación y colocación, los bordes en los límites del block permiten que se puedan sujetar fácilmente con las manos.

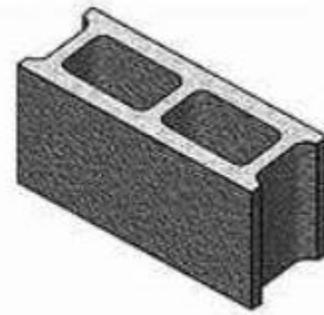


Figura 20 Block tipo gafa

Multicámara: las cavidades internas tienen el propósito de dar un mayor espesor, las paredes que dividen a los huecos, estos darán estabilidad al block. o una estética poco común

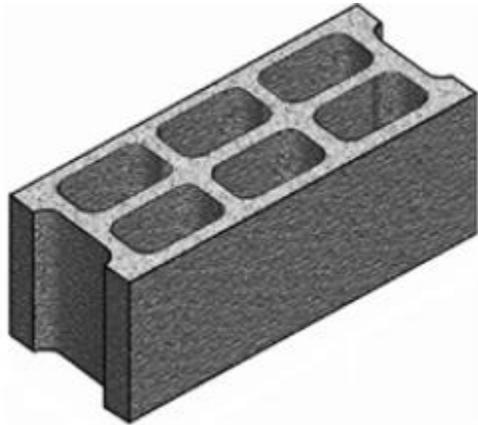


Figura 21 Block tipo multicamara.

De carga: estos son más resistentes a la prueba de compresión y según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 donde establece los parámetros de resistencia serán estructurales aquellos que rebasen los 90 kg/cm^2 . Y su aplicación no solo será como relleno para los muros, estos tendrán una función estructural dentro de la construcción. Su forma y tamaño será únicamente limitado por norma MX-C-038-ONNCCE-2013 para la determinación de las dimensiones.

Proceso de fabricación

Todo proceso para la fabricación de piezas de concreto es muy similar cada uno con sus particularidades, a continuación, hacemos mención de las 4 principales etapas.

- Realizar la Mezcla

Los materiales pétreos son trasladados a la planta por medio de góndolas abiertas, son almacenados a la intemperie, el cemento es traído a la planta en góndolas secas y colocado en silos para su uso, el agua es suministrada de la red municipal y almacenada en cisternas totalmente herméticas.

Una vez se tengan las proporciones de cada materia prima inicial el proceso, primero los materiales pétreos grava y arena son transportados y medidos volumétricamente, desde el almacén hasta la revolvedora por medio de bandas automatizadas.

El cemento es pesado y se agrega directamente del silo a la revolvedora en este caso solo se agrega la mitad de cemento que se ocupara.

Hasta este punto en la revolvedora solo hay materiales “secos”, ahora se agrega la mitad de agua que se ocupara, así como los aditivos requeridos y/o sustitutos del cemento como es el caso de la ceniza volante.

Por último, se agrega la segunda mitad de cemento y posterior a esto la segunda parte de agua se agrega, teniendo así toda el 100% de materia prima en la

revolvedora. Una vez esta mezcla es homogénea se transporta por medio de una banda a la tolva de la máquina vibro-compactadora.

Nota: el clima y las superficies de contacto sobre las cuales circula la mezcla deben humedecerse previamente de lo contrario estas retendrán cierta humedad afectando así la relación agua cemento.

- Moldeo

La tolva de la máquina vibro-compactadora es elevada lo que permite que la dosificación de mezcla sea por gravedad, desde esta pasa a una segunda tolva la cual solo contiene la cantidad requerida para la fabricación de las piezas con un exceso calculado.

Esta segunda tolva llena directamente los moldes que ya se encuentran sobre una placa metálica la cual funge como cimbra y medio de transporte para los blocks en estado fresco, una vez los moldes tienen la cantidad de mezcla requerida un enrazador retira el exceso de mezcla sobre los moldes. Inmediatamente después cae el pisón sobre el molde lleno de mezcla y a su vez comienza el vibrado de la mesa sobre la cual se encuentra la placa metálica,

Terminando el ciclo de vibrado el molde es retirado hacia arriba, mientras el pisón mantiene su posición permitiendo que el block se mantenga sobre la placa metálica, posteriormente se retira el pisón, dejando únicamente los blocks vibro-compactados sobre la placa metálica, inmediatamente se retira y coloca una nueva placa metálica, lo que permite se reinicie el ciclo.

- Fraguado

Las placas metálicas que contienen los blocks son transportadas hacia un apilador automático que las sitúa en un bastidor de curado. Cuando la rejilla está completa, se llevan hacia el sitio más idóneo para su curado (lo ideal es un cuarto de curado donde se controla la temperatura y humedad), generalmente por la gran cantidad de espacio son colocados estos bastidores en naves que solo las protegen de la intemperie.

El fraguado también es conocido como curado y es el proceso en el cual el concreto pasa de un estado fresco a un estado endurecido, entre mejores sean las condiciones del fraguado mejores características mecánicas tendrá el block como la resistencia a la compresión o resistencia a la abrasión.

Es una realidad que llevar a cabo este proceso de forma idónea genera un costo considerable, por lo que la gran mayoría de industria en México se limita a llevar este proceso en naves industriales que protegen a los blocks de la intemperie e incluso en algunas regiones este proceso es a cielo abierto

- Almacenamiento

Una vez los blocks ya es su estado endurecido estos son retirados de las placas metálicas (desimbrado), estos bastidores son colocados en un apilador inverso, que permite ir retirando los blocks de tres tablas a la vez, mediante un movimiento vertical y horizontal son reunidos los blocks, que a su vez son tomados por una prensa hidráulica y puestos sobre una tarima de madera, este proceso se repite hasta que la tarima tenga un promedio de 8 estibas.

Como este almacenaje se realiza antes de que los blocks alcancen los 28 días de fabricación, estos en las tarimas de madera son cubiertos por un plástico, el cual tendrá dos principales funciones, la más importante que las piezas no pierdan humedad pues seguirán incrementando su resistencia a la compresión hasta llegar a los 28 días y la segunda es evitar que las piezas choquen entre sí, por el movimiento que sufra la tarima de madera para su almacenaje.

Es muy importante etiquetar con toda la información estas tarimas de madera, para poder tener un control sobre que piezas son las que contiene.

Calculo de mezclas

La dosificación de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas, es un proceso en el que cada materia prima afecta directamente, es decir debe existir un balance entre las mismas para cumplir con las características para el cual el concreto es empleado.

La primera consideración que se debe tener es cuál será el fin de aplicación para nuestro concreto, para cualquier proyecto que se requiera una pieza de concreto, así como en nuestro caso específico de blocks de concreto, estos tendrán especificaciones básicas como resistencia a la compresión, tiempo de descimbrado, límite máximo de tamaño de agregado y el revenimiento.

Una vez tienen las características específicas del concreto, se procede a elegir los materiales para su fabricación, recordando que existen distintas posibilidades para el cemento y aditivos, aunque los materiales pétreos (arena y grava) son preferentemente de un yacimiento cercano a donde se fabricara el concreto.

A pesar de que existen innumerables trabajos respecto al diseño de mezclas de concreto, todos usan resultados a prueba y error para hacer las modificaciones pertinentes y aunque existen distintas propiedades de un concreto la resistencia a la compresión es el principal objetivo a cumplir.

Normativa aplicable para la fabricación de blocks de concreto

En la actualidad la llamada “globalización del mercado” y con los acuerdos nacionales como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, los productores mexicanos deben cambiar su postura respecto a sus estrategias de comerciales, como la que está basada únicamente en el precio, aunque importantes resultan insuficientes para poder ser líderes de mercado.

Una nueva estrategia tiene como principal objetivo generar una competitividad sostenible mediante el progreso continuo de la calidad de los productos y servicios que se generan.

El Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) que es una Sociedad Civil reconocida a nivel nacional dedicada al desarrollo de las actividades de normalización, certificación y verificación, que tiene como propósito contribuir a la mejora de la calidad de los productos, procesos, sistemas y servicios [2].

A pesar de que existe una gran cantidad de normas aplicables en México respecto a la fabricación de blocks de concreto su aplicación es muy escasa y en algunos casos nula. De este gran abanico de normas daremos a conocer brevemente las más relevantes enfocadas a la producción de blocks de concreto.

Dividiremos en dos clases las normas aplicables, la primera se refiere al análisis y parámetros de los agregados, es decir a los materiales antes de ser mezclados y la senda mostrara los análisis y parámetros del block como tal. Cabe hacer mención que esta lista puede extenderse hasta tener control de todos y cada uno de los procesos que intervienen para la fabricación de los blocks de concreto.

A continuación, se enlistan las normas y una breve descripción se su proceso

Normas aplicables a los agregados:

- NMX-C-030-ONNCCE-2004 Procedimiento para muestreo de agregados
- NMX-C-073-ONNCCE-2004 Procedimiento para cálculo de masa volumétrica
- NMX-C-077-ONNCCE-1997 Procedimiento para análisis granulométrico
- NMX-C-084-ONNCCE-2006 Procedimiento para análisis de pérdida por lavado
- NMX-C-088-ONNCCE-1997 Procedimiento para determinar contenido de impurezas orgánicas
- NMX-C-164-ONNCCE-2014 Procedimiento para prueba de absorción de agua y masa específica del agregado grueso
- NMX-C-165-ONNCCE-2014 Procedimiento para prueba de absorción de agua y masa específica del agregado fino
- NMX-C-166-ONNCCE-2006 Procedimiento para determinar humedad del agregado

- NMX-C-170-ONNCCE-1997 Procedimiento para reducción de muestras al tamaño requerido de las pruebas

Normas aplicables a los blocks de concreto:

- Procedimiento para la prueba de revenimiento
- NMX-C-036-2004 Procedimiento para cabeceo y ensayo a la compresión de bloques de concreto seco
- NMX-C-037-2013 Procedimiento de absorción inicial y a 24 horas
- MX-C-038-ONNCCE-2013 Procedimiento para determinación de las dimensiones
- NMX-C-404-ONNCCE-2012 Parámetros de resistencia y absorción inicial

Procedimiento para muestreo de agregados NMX-C-030-ONNCCE-2004

Para poder hacer las pruebas de a los agregados es necesario tomar una muestra representativa, esto nos permitirá evaluar de manera general los materiales pétreos en una mina, en un almacén o en una camión.

Esta norma mexicana establece el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro; el control de los agregados en la fuente de abastecimiento; el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados. El muestreo es tan importante como el ensaye, por lo que el personal técnico debe tomar todas las precauciones necesarias para que la muestra resulte representativa de la fuente de abastecimiento.

La Norma Mexicana establece que las muestras para la investigación preliminar deben ser obtenidas por el responsable de la explotación. Para obtener muestras representativas de un determinado yacimiento, es de mucha importancia efectuar la operación de muestreo, de acuerdo con las recomendaciones, para los diferentes tipos de yacimiento que establece la norma. [12]



Figura 22 Muestreo de materiales pétreos en mina

Procedimiento para cálculo de masa volumétrica NMX-C-073-ONNCCE-2004

El conocer la masa volumétrica de nuestros agregados es de suma importancia a la hora de realizar la mezcla, pues las cantidades para la dosificación se estandarizan en litros lo que facilita el proceso.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados finos y gruesos o de una combinación de ambos. Este método es aplicable a agregados cuyo tamaño máximo nominal no excedan de 150 mm. El método establece tomar una muestra de agregado de acuerdo con el método de muestreo descrito en la NMX-C-030-ONNCCE (muestreo), y se reduce a un volumen de aproximadamente 1,5 veces la capacidad del recipiente que se va a emplear, de acuerdo con la NMX-C-170 ONNCCE (reducción de muestra). La muestra de agregados debe secarse hasta que la masa sea constante, para lo cual la muestra del material que se va a secar se introduce en el horno a una temperatura constante y periódicamente se seca, se deja enfriar y se pesa. [13]

Para llevar a cabo la prueba se requiere de una báscula, estufa para secado, placa de vidrio, recipiente, regla metálica (enrasador) y equipo de uso general.

Las formulas empleadas son las siguientes:

$$F = \frac{MU}{MA}$$

Donde:

F= Factor en metro cúbico

MU= Masa unitaria del agua tomando en cuenta la temperatura de la misma

MA= Masa del agua que se ocupa para llenar el recipiente (kg)

$$MV = (MN - MR)F$$

Donde:

MV= Masa volumétrica (kg/m³)

MN= Masa neta (kg)

MR= Masa del recipiente (kg)

Factor= Factor (1/m³)

Procedimiento para análisis granulométrico NMX-C-077-ONNCCE-1997

Realizar la prueba granulométrica es fundamental para poder conocer el tamaño de partículas que contienen los materiales pétreos, recordemos que por las características de cada concreto estas determinan el tamaño máximo de agregado, el cual limita el uso de partículas que rebasen este límite.

El método establece que la muestra del agregado que se va a emplear para el análisis granulométrico debe tomarse de acuerdo con la NMX-C-030-ONNCCE (muestreo) y reducirse de acuerdo con lo indicado en la NMX-C-170-ONNCCE (reducción de muestra). El agregado fino debe humedecerse antes de iniciar la reducción del tamaño de la muestra para evitar la segregación, siendo el objetivo del método determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medio de cribas, las culés son sometidas a una vigorosa agitación por un periodo de 15 minutos, posterior a esto se pesa el material retenido en cada criba. [14]

Una vez se obtienen las masas de cada malla, se puede calcular un módulo de finura o tamaño promedio, el cual sirve para diseñar las proporciones entre finos y gruesos. Es importante decir que las minas de las cuales provienen los materiales pétreos no tienen un alto control de calidad respecto a los tamaños de partícula, por lo realizar esta prueba es indispensable.



Figura 23 Equipo ROTAP, con torre de tamices normalizados

Procedimiento para análisis de pérdida por lavado NMX-C-084-ONNCCE-2006

Los agregados tienen partículas que pueden pasar la malla 200, debemos recordar que el análisis granulométrico se hace por medio de una agitación vigorosa, pero en los materiales pétreo existen partículas muy finas que a pesar de esta agitación no logran pasar por la malla 200, también existen partículas que por su tamaño no pasan dicha malla, pero su composición las hace solubles en agua permitiéndoles pasar la malla. Estos el porcentaje de estos dos tipos de partículas se puede determinar.

Esta Norma Mexicana especifica el método de prueba para determinar el contenido de partículas más finas de la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado. Las partículas de arcilla y otras que se disgregan por el agua de lavado y las que son solubles en el agua son separadas durante esta prueba. La muestra del agregado que se va a ensayar debe tomarse de acuerdo con lo indicado en la NMX-C-030-ONNCCE (muestreo), y mezclarse completamente para reducirse de acuerdo con lo indicado en la NMX-C-170-ONNCCE (reducción de muestra), a un tamaño adecuado para el ensayo. La muestra de agregados se lava por agitación y el agua que contienen los materiales disueltos y en suspensión, se separa por decantación, pasándola por la criba 0,075 mm (No. 200). La pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como por ciento de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje del material más fino que la criba 0,075 mm (No. 200) obtenida por lavado. [15]

Procedimiento para determinar contenido de impurezas orgánicas NMX-C-088-ONNCCE-1997

Es importante conocer si nuestros agregados contienen impurezas orgánicas, ya que este parámetro puede ser perjudicial para el concreto. Si los resultados de las muestras nos darán un parámetro para evaluar el yacimiento del cual estén siendo extraídos los materiales pétreos.

Esta norma establece el método de prueba para la determinación aproximada de la presencia de materia orgánica dañina en agregados finos utilizados en la fabricación de concretos. Esta prueba es un índice de contaminación y proporciona en su caso, una advertencia acerca de la necesidad de efectuar otras pruebas antes de su utilización. Para llevarse a cabo se introduce la muestra seca de agregado fino en una botella de vidrio. Se agrega la solución de hidróxido de sodio y se agita vigorosamente. Se tapa la botella y se deja reposar 24 h. Después de este tiempo de reposo, se determina el color de la solución que queda sobre el agregado, comparando si es más clara, igual o más oscura respecto de la solución normalizada. Si el líquido que esta sobre el agregado es más oscuro puede considerarse que las impurezas pueden ser perjudiciales para la fabricación de concreto. [16]



Figura 24 Comparativo de colores respecto de una muestra

Procedimiento para prueba de absorción de agua y masa específica de los agregados grueso y fino NMX-C-164-ONNCCE-2014 y NMX-C-165-ONNCCE-2014

Para la fabricación del concreto es quizás la relación agua–cemento es la más importante, debido a esto el conocer la cantidad de agua que es absorbida por los materiales pétreos es muy relevante pues este dato modificara directamente la cantidad de agua que debe agregarse a la mezcla.

Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la densidad relativa aparente y la absorción del agregado fino y grueso en la condición saturada y superficialmente seca. Esta Norma Mexicana aplica a los agregados finos de un tamaño máximo de 4,75 mm (malla No 4) y gruesos con un tamaño máximo de 76 mm (3 pulgadas). [17]

Esta norma establece método para determinar la relación de la densidad del agregado a la masa del volumen de agua que desplaza al sumergirse en ella; también el aumento de masa del agregado seco debido al agua que se introduce en los poros del material. Esta norma especifica el equipo a utilizar, la forma de preparar y acondicionar las muestras, las condiciones ambientales y el procedimiento del ensayo; y el cálculo. [18]



Figura 25 Secado de materiales pétreos

Procedimiento para determinar humedad del agregado NMX-C-166-ONNCCE-2006

El conocer cuál es la cantidad de agua que contiene los materiales pétreos es fundamental para poder realizar ajustes a la cantidad de agua que ha sido determinada por el diseño, debemos recordar que si los materiales pétreos son almacenados a cielo abierto el contenido de humedad será muy variable, debido a que los cambios ambientales afectan directamente esta propiedad.

Esta norma establece el método de prueba para determinar el contenido de agua en los materiales pétreos mediante el secado de la misma, siendo este un método de aproximación. Se prepara una muestra de acuerdo a la norma NMX-C-030-ONNCCE (muestreo), de acuerdo a la tabla número 5, se determina su masa con una aproximación del 0.1%, evitando la pérdida de agua hasta donde sea posible. A continuación, se seca totalmente la muestra en el recipiente, por medio de un horno, teniendo la precaución de evitar pérdidas de partículas durante el secado. Se considera que la muestra está totalmente seca, cuando al colocar sobre ella un cristal a la temperatura ambiente, este no se empaña. Cabe decir que se dejará enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente y se determinará su masa, con la misma aproximación del 0.1 %. [19]

Las formulas empleadas son las siguientes:

$$Hum = \left[\left(\frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100 \right]$$

Donde:

Hum= contenido de agua en %

Mh= Masa de la muestra húmeda (gr)

Ms= Masa de la muestra seca (gr).

Masa de muestra del agregado			
Tamaño nominal (mm)	Masa de muestra (kg)	Tamaño nominal (mm)	Masa de muestra (kg)
150	30	40	6
102	25	25	4
90	16	20	3
75	13	13	2
64	10	10	1.5
50	8	Agregado fino	0.5

Tabla 5 Masa de muestra necesaria para prueba de humedad

Procedimiento para reducción de muestras al tamaño requerido de las pruebas NMX-C-170-ONNCCE-1997

Para realizar las pruebas a los agregados es necesario obtener una muestra representativa y esta debe ser de una cantidad específica para cada prueba, así que este procedimiento nos permite reducir las muestras a esta cantidad.

Esta Norma Mexicana establece los métodos para la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta el tamaño apropiado para la prueba; empleando en cada caso, una técnica para minimizar las variaciones en características medibles entre la muestra probada y la muestra de campo. Estos métodos se designan con las letras "A" y "B". El método establece en el procedimiento 2 métodos: Método "A" Cuarteo Mecánico y Método "B" Cuarteo manual; así como la selección del método y el tamaño de la muestra para establecer los métodos para reducir las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas y que se conserven representativas como la muestra de campo. [20]

A pesar del gran uso del cuarteo, algunos investigadores desconocen que es un método normado el cual permite la estandarización de mismo así mismo la obtención de una correcta muestra representativa.-

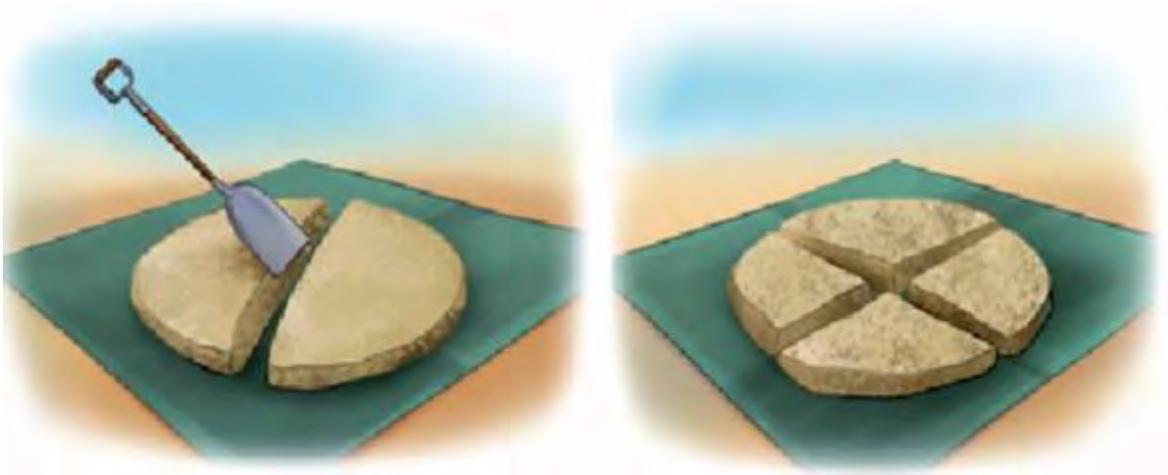


Figura 26 Cuarteo de muestras para agregados pétreos

Procedimiento para la prueba de revenimiento

El propósito de la prueba de revenimiento es determinar la consistencia del concreto en estado fresco. Con los resultados podemos determinar la consistencia de nuestro concreto, y dependiendo del método de vaciado (colocación del concreto en un molde o cimbra) evaluar si la consistencia es ideal o es necesario modificarla. Esta no es una prueba para determinar cuánta agua contiene el concreto, se debe tener mucho cuidado al modificar el revenimiento, pues no solo interviene la cantidad de agua.

Este método tiene como finalidad el proporcionar al usuario un procedimiento para determinar el revenimiento de concretos plásticos hechos a base de cemento hidráulico. La muestra de concreto de la cual se toman los especímenes de prueba deberá ser representativa de toda la mezcla preparada.

Es importante que la prueba la realice personal capacitado, debido a que una mala ejecución de la misma otorgara resultados erróneos.

Esta prueba se lleva a cabo justo antes de vaciar el concreto, lo que significa que en este punto se puede determinar el modificar el revenimiento o incluso el desechar la mezcla.

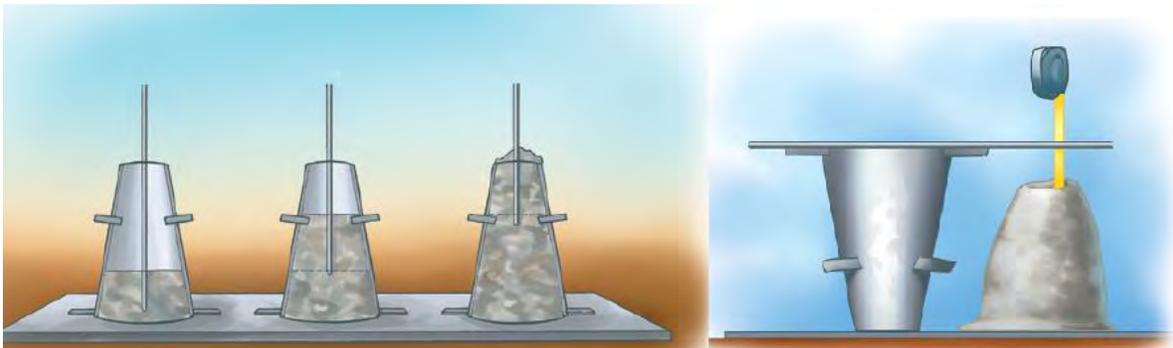


Figura 27 Prueba de revenimiento para concretos.

Procedimiento de absorción inicial y a 24 horas NMX-C-037-ONNCCE-2013

Quizás después de la resistencia a la compresión la prueba de absorción es la más importante, pues esta determina la cantidad de agua que puede absorber un block de concreto.

Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la cantidad de agua que absorben las piezas de mampostería, así como la absorción inicial por capilaridad. Esta Norma Mexicana es aplicable a los bloques, tabiques o ladrillos y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, en las condiciones que se especifican. Esta norma establece el método para determinar la cantidad de agua absorbida al sumergirse completamente en agua por un largo periodo (absorción total); así como la cantidad de agua que absorben por capilaridad al sumergir una de sus caras por un periodo corto (absorción inicial). Esta norma especifica el equipo y el material auxiliar a utilizar, la forma de preparar y acondicionar las muestras, las condiciones ambientales, el procedimiento del ensayo, el cálculo y la expresión de resultados. [21]

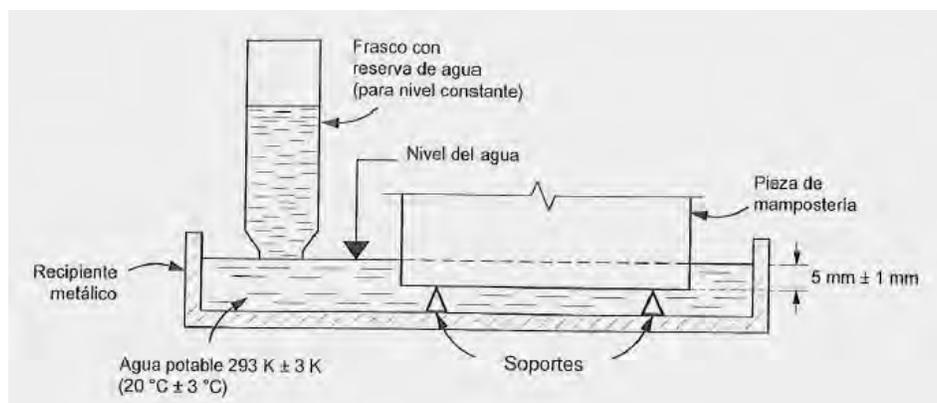


Figura 28 Esquema de la prueba de absorción.

Cálculos:

$$Cb = \frac{100(M)}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M1 - Ms)}{S(10)}$$

Donde:

C_b = Coeficiente de absorción inicial en $g/(cm^2 \cdot min^{0.5})$

M = Masa del agua absorbida en el ensaye ($M_1 - M_s$)

M_1 = Masa húmeda en (g)

M_s = Masa seca (g)

S = Superficie de la cara sumergida en (cm^2)

t = Tiempo de inmersión en (min)

Procedimiento para ensayo a la compresión sobre bloques de concreto seco NMX-C-036-ONNCCE-2004

Por mucho esta prueba es la primera que deberá cumplir los blocks de concreto, esta será determinante para evaluar la calidad de los mismos. Depende de esta prueba que los blocks sean aceptados o rechazados.

Recordemos que el diseño de la mezcla tiene un parámetro primordial que es la resistencia a la compresión, los datos que resulten del ensayo a la compresión serán utilizados para futuras mezclas.

Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión. Esta Norma Mexicana es aplicable a bloques, tabiques o ladrillos, tabicones, celosías y adoquines de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional. Esta norma establece método para determinar la resistencia a la compresión de las piezas, a través de su ensayo con una máquina de tipo a compresión o universal. Esta norma especifica el material auxiliar y el equipo a utilizar, la forma de preparar y acondicionar las muestras, las condiciones ambientales y el procedimiento del ensayo; y el cálculo y expresión de resultados. [22]



Figura 29 Maquina de compresión simple para prueba de resistencia en blocks

Procedimiento para determinación de las dimensiones NMX-C-038-ONNCCE-2013

Los blocks que se fabrican están regidos con dimensiones estandarizadas, lo que permite que en cualquier región de México se puedan encontrar blocks con las mismas dimensiones.

Evidentemente las dimensiones estandarizadas de los blocks se apegan a las normas aplicables de la construcción en México.

Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de las dimensiones de los bloques, tabiques y ladrillos y tabicones para la construcción. Esta Norma Mexicana es aplicable a todos los bloques, ladrillos, tabiques y tabicones fabricados con cualquier material. Para cualquier uso. Esta norma establece el método para determinar las dimensiones de las piezas en cada una de las tres direcciones en que se mide la extensión del mismo (largo, ancho y alto). Esta norma especifica el equipo a utilizar, la forma de preparar y acondicionar las muestras, las condiciones ambientales y el procedimiento del ensayo; y el cálculo y expresión de resultados. [23]

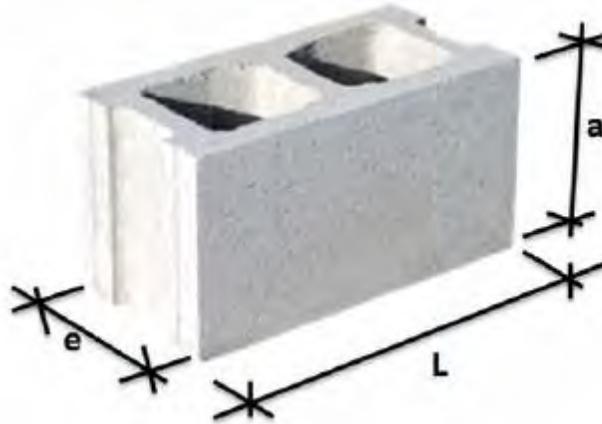


Figura 30 Dimensiones de un block de concreto

Parámetros de referencia NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso estructural

A diferencia de las anteriores normas donde establecen un procedimiento, esta determina los parámetros mínimos que debe cumplir los blocks de concreto para uso estructural.

Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de ensayo a cumplir por los bloques, tabiques o ladrillos y tabicones. Esta norma mexicana es aplicable a los bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural en las edificaciones de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional. Esta norma establece la clasificación de las piezas conforme a su geometría, material y tipo; especifica el área neta mínima, las dimensiones y tolerancias, la resistencia a la compresión, la absorción inicial, la absorción total de agua y la contracción por secado de acuerdo con su clasificación; y establece los métodos de ensayo para evaluar estas propiedades. [24]

Sin duda los parámetros de resistencia a la compresión son los más relevantes, en la tabla 6 se muestran los mínimos valores que debe cumplir los blocks de concreto, es importante puntualizar que la norma también considera a los tabiques y se debe tener en cuenta para no cometer errores.

Resistencia a la compresión (estructural)			
Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media (kg/cm ²)	Resistencia mínima individual (kg/cm ²)
Bloque	Macizo	150	120
	Hueco	90	70
	Multiperforado	150	120
Tabique (largo > 300 mm)	Hueco	90	70
	Multiperforado	90	70
Tabique (largo < 300 mm)	Macizo	110	70
	Hueco	90	70
	Multiperforado	150	120

Tabla 6 Parámetros de resistencia a la compresión (NMX-C-404-ONNCCE-2012)

En la tabla 7 se muestran los límites para la absorción inicial o también conocida como absorción por capilaridad, así como la absorción total, los límites serán distintos dependiendo del material de fabricación y del uso que se le dé.

Absorción

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	----	----	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Tabla 7 Parámetros de absorción (NMX-C-404-ONNCCE-2012)

CAPITULO 3: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se redactará el método experimental empleado para lograr el diseño de una mezcla de concreto que nos dé como resultado especímenes de baja densidad y alta resistencia a la compresión. El cual está dividido en cuatro principales etapas.

Primera, estudio y ensayo de blocks comerciales en la región

Segunda, recolección de materias primas pues es fundamental conocer la procedencia debidamente georreferenciada, así como la caracterización de las mismas.

Tercera, fabricación de blocks con la mezcla diseñada a partir de toda la información requerida.

Cuarta, ensayo de block fabricados

Los materiales pétreos son colocados, en distintas pruebas, bajo la normativa ONNCCE, para la obtención en los yacimientos bajo la norma para el muestreo de agregados NMX-C-30-2004, para la realización de cuarteo y reducción de la muestra de acuerdo a norma NMX-C-170-2004, para poder realizar la granulometría bajo la norma Análisis granulométrico NMX-C-077-1997 en esta se utilizaron las mallas #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8 y 1/2, se terminaron las densidades específicas para los agregados finos y gruesos mediante NMX-C-164-2002.

Las proporciones de la mezcla se establecieron una vez se tenía la seguridad de que la mezcla base propuesta alcanza los 90 Kg/cm², en la prueba de compresión simple, a los blocks que se generen con esta formulación se denominará testigo, este será la referencia ante las demás mezclas modificadas, cabe hacer la mención que, al hablar de un porcentaje de sustitución, es referente a la cantidad de cemento portland ordinal cedula 40,

En el primer lote: la primera modificación es el uso de un 30% en sustitución con cemento impercem, la segunda modificación es el uso de un 10% en sustitución de ceniza volante y por último el empleo de un aditivo auto-curable, estos se realizan de forma simultánea junto con el testigo para minimizar las variables de humedad, temperatura, curado y almacenaje.

El segundo lote se diseña a partir de los resultados del primero en base a los resultados dados por la ceniza volante se determina seguir realizando más experimentaciones con esta, pero ahora con diferentes variables y no solo en sustitución, también en adición. Es importante señalar que cuando hablamos de adición significa que la ceniza volante será un costo extra que abra que considerar en un estudio financiero y que cuando hablamos de sustitución de cemento con ceniza volante, los costos de fabricación disminuyen por la diferencia de costos entre el cemento y la ceniza volante.

En el segundo lote se ponen a prueba cuatro variables respecto al testigo, la adición del 15% de ceniza y la sustitución de cemento con el 15%, 30% y 50% de ceniza volante respectivamente, sin olvidar que al igual que en el lote uno, los resultados son comparados con una muestra testigo.

Por último y en base a los resultados obtenidos del lote uno y dos se diseña el tercer lote donde son sometidas cuatro variables respecto al testigo, donde las variables son: el 10 % de adición de ceniza menos 5 % de cemento, uso de un aditivo auto curable al 2.5%, aditivo 2% con una sustitución de cemento por el 10% de ceniza más 5% de agua adicional y por último aditivo 2% con una sustitución de cemento del 10% de ceniza.

Para la fabricación de los blocks se mezclan primero los materiales pétreos con un 50% del agua empleada, una vez estos materiales estén hidratados se agregan los cementantes, y el resto de agua, se sigue mezclando hasta alcanzar una mezcla homogénea, posteriormente se coloca la muestra dentro de la máquina vibrocompactadora y con un molde para blocks de 20 x 40 x 12 centímetros con dos huecos centrales bajo la norma NMX-C-038-2013, después de este proceso ya no será más una mezcla, ahora lo denominaremos block en estado fresco, el cual debe ser manipulado con extremo cuidado, pues las propiedades de resistencia solo las tendrá con el paso del tiempo, por ello se realizan pruebas de resistencia a la compresión NMX-C-036-2004 y absorción inicial NMX-C-037-2013 estas pruebas se realizan a 7, 14, y 28 días después de su fabricación.

La caracterización de la ceniza volante, materiales pétreos y cemento, fueron analizados por DRX en el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de 5° a 100° utilizando radiación de Cobalto ($CoK\alpha_1$). Así como una microscopía de la ceniza volante en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

Diagrama de flujo

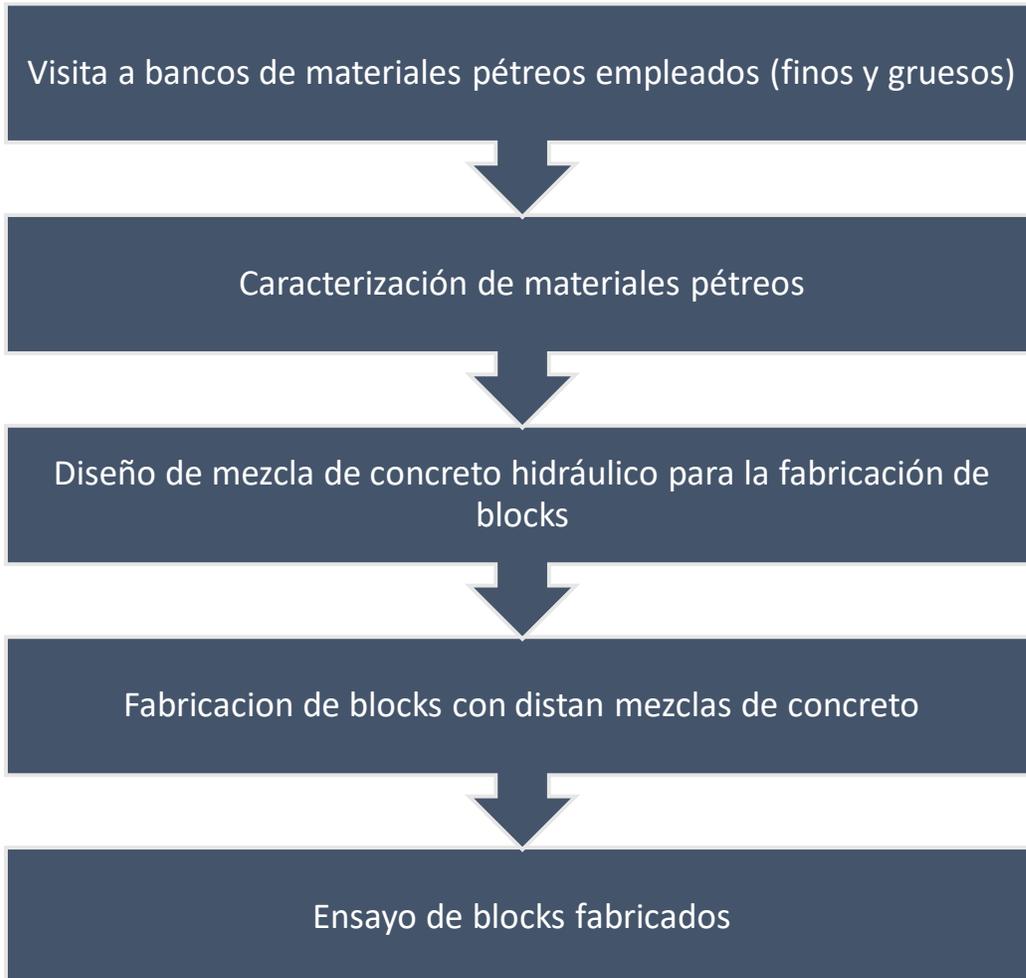


Diagrama de flujo 1 Método experimental

Caracterización de materias primas

Granulometría

La granulometría es una prueba que se le realiza a los materiales pétreos, con el fin de conocer los distintos tamaños de grano que lo componen, así como la cantidad de estos respecto del total de la masa de la muestra.

La forma común de conocer los distintos porcentajes de masa de cada tamaño es mediante una torre de distintas mallas, estas mallas tiene distintas dimensiones de apertura y mediante movimientos oscilatorios y de arriba abajo (sacudir), lo que permite que la muestra puesta a prueba se separe por taños distintos de partícula.

MALLA	ABERTURA (mm)
3/4"	19.050
1/2"	12.700
3/8"	9.525
N° 4	4.760
N° 8	2.380
N° 16	1.190
N° 30	0.590
N° 50	0.297
N° 100	0.149

Tabla 8 Mallas normalizadas por ONNCCE

La tabla numero 8 muestra las mallas normalizadas por ONNCCE así como la apertura en milímetros de cada una de ellas. El método de determinación granulométrico más sencillo es obtener las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices, todo esto bajo los lineamientos de la norma NMX-C-077-ONNCCE-1997. [12]

Una forma de representar la granulometría de un material es mediante la curva granulométrica, que es una representación gráfica de los datos, que permite ver de forma rápida el comportamiento de las masas retenidas y los tamaños de partícula.

Otra característica que se puede medir mediante la granulometría es el tamaño máximo de agregado que será la primera malla donde se renga material, este dato es importante para el diseño de mezclas.

Difracción de Rayos X (DRX)

Características de técnicas	
Señal de perturbación o incidencia/fuente de excitación	Rayos X
Señal detectada	Rayos X
Fenómeno o proceso involucrado en la interacción señal de perturbación-material	Difracción
Tipo de técnica	No destructiva
Resultado de técnica	Patrón de difracción
Información obtenida	Estructura cristalina
Estado de agregación del material	Sólidos
Tipo de material que puede ser analizado por la técnica	Materiales cristalinos
Condiciones del material/fundamentos de la técnica	Material cristalino

Tabla 9 Características de la técnica (DRX)



Figura 31 Equipo para Difracción de Rayos X

Motivo:

El hecho de que una muestra siempre produce un característico patrón de difracción ya sea que la sustancia esté presente en estado puro o que este como un componente de una mezcla de sustancias, el patrón de difracción de una sustancia es característico de dicha sustancia y puede considerarse como huellas digitales por las cuales la sustancia puede identificarse.

Este hecho nos permitirá identificar dicha sustancia mediante la comparación del patrón obtenido.

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Características de técnicas	
Señal de perturbación o incidencia/fuente de excitación	Electrones
Señal detectada	Electrones retro dispersos y electrones secundarios
Fenómeno o proceso involucrado en la interacción señal de perturbación-material	Retro dispersión y emisión para los electrones secundarios
Tipo de técnica	No destructiva
Resultado de técnica	Imagen
Información obtenida	Morfología y topografía analiza sólo la superficie
Estado de agregación del material	Sólidos
Tipo de material que puede ser analizado por la técnica	Todo tipo de material
Condiciones del material/ fundamentos de la técnica	Que sea conductor eléctrico o pueda hacerse conductor mediante el recubrimiento con grafito, oro, etc.

Tabla 10 Características de la técnica (SEM)



Figura 32 Microscopio Electrónico de Barrido.

Motivo:

Con esta técnica se obtendrán imágenes que nos permitirán conocer características, topográficas, morfológicas y de estructura cristalina, de los materiales usados en el proceso.

Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS)

Características de técnicas	
Señal de perturbación o incidencia/fuente de excitación	Electrones
Señal detectada	Rayos X
Fenómeno o proceso involucrado en la interacción señal de perturbación-material	Emisión
Tipo de técnica	No destructiva
Resultado de técnica	Espectro
Información obtenida	Análisis de superficie y composición elemental
Estado de agregación del material	Todo tipo de material sólido, muestras con alto grado de hidratación y geles
Tipo de material que puede ser analizado por la técnica	Todo tipo de material
Condiciones del material/fundamentos de la técnica	Ser conductor

Tabla 11 Características de la técnica (XEDS)

Motivo:

Con ello podemos realizar un análisis de superficie, así como la composición elemental y conocer las valencias con que están trabajando los elementos que componen nuestro material.



Figura 33 Microscopio Electrónico de Barrido con la técnica acoplada de (XEDS)

Resistencia a la compresión

Los parámetros que da la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 son aplicables para blocks de concreto para uso estructural lo que significa que tiene más aplicaciones de aquellos que no son estructurales.

Para poder llevar a cabo se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento.

Tomar de cada lote 5 blocks de concreto para cada prueba (7, 14 y 28 días)

Almacenar en laboratorio 24 horas antes de la prueba

Recubrir con un mortero de azufre las dos caras de los blocks de concreto (cabecero) que estarán en contacto con las cargas (donde sean usados), bajo los lineamientos de la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004

Someter a carga los blocks ya recubiertos en la prensa universal, los blocks son sometidos a esfuerzos de compresión, bajo los estándares de la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004.

Una vez se tienen los resultados de resistencia a la compresión de los 5 blocks de concreto se promedian y este valor será el que represente al lote del cual se extrajeron los blocks. Sin duda este valor será determinante para aprobar o rechazar el lote de blocks, así como tomar decisiones sobre el diseño de la mezcla.

Los valores representativos para cada lote de blocks serán los obtenidos a 7, 14 y 28 días.

Absorción inicial

La absorción es la propiedad del concreto para absorber agua y está directamente relacionada con la permeabilidad, o sea el paso del agua a través de sus paredes regida por la norma NMX-C-037-ONNCCE-2005.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua que absorben los bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, en las condiciones que se especifican, así como la absorción máxima inicial de los tabiques y bloques de cerámica o arcilla.

Absorción

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	----	----	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Tabla 12 Parámetros de absorción (NMX-C-404-ONNCCE-2012)

La absorción máxima inicial, Es la cantidad de agua que absorbe un espécimen por una de sus caras bajo determinadas condiciones durante 10 minutos de inmersión en agua potable donde esta lo cubra 5 mm, manteniendo el nivel de agua constante en el recipiente y se expresa por un coeficiente de absorción (Cb).

Como podemos observar en la tabla 12 proporcionada por la norma para los blocks de concreto para cumplir con la norma se debe tener un coeficiente de absorción inicial para muros interiores de $7.5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \times \text{min} .^5)$ y de $5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \times \text{min} .^5)$ para muros exteriores, esto es lógico pues los blocks que se ocupan en el exterior, están expuestos a la intemperie, por lo que su Cb debe ser más bajo.

Para llevar a cabo la medición del coeficiente de absorción inicial se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Seleccionar 3 especímenes de una sola fecha una vez que se ha garantizado la resistencia requerida por la norma NMX-C-036.
- Llevar las 3 muestras al laboratorio de control de calidad.
- Identificar cada bloque.
- Los especímenes se secan en el horno a una temperatura de $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante $24 \text{ hr} \pm 2 \text{ hr}$. Asegurando la condición de masa constante, para la cual se determina la masa pesando los especímenes en dos ocasiones y la

diferencia no debe de ser mayor al 0.2% de la masa de la pieza y se registra la masa como **Ms** (g).

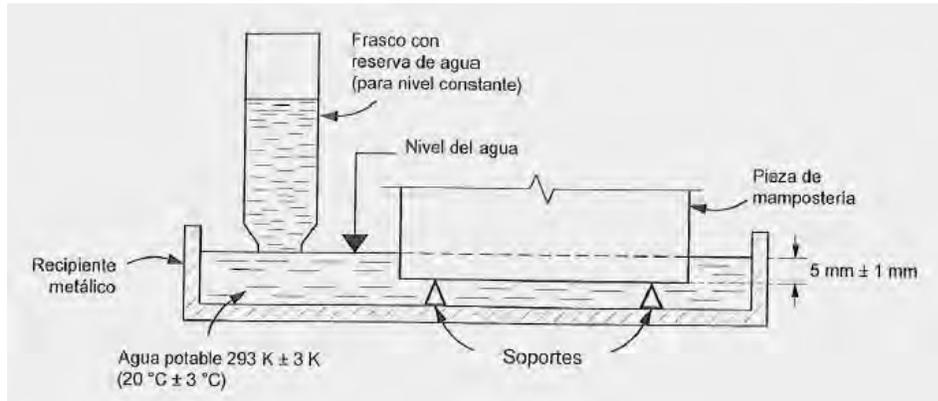


Figura 34 Esquema de la prueba de absorción.

- Sumergir una cara del acabado liso de manera tal que queden 5mm±1mm por debajo del nivel del agua por un periodo de 10min ± 20seg. Pasado el tiempo contacto se retira el exceso de agua, no tomado más de 15 segundos se pesa de nuevo y se registra la masa como **M1** (gr).
- Esta prueba se realizará como mínimo una vez cada dos meses
- Cálculos:

$$Cb = \frac{100(M)}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M1 - Ms)}{S(10)}$$

Dónde:

Cb= Coeficiente de absorción inicial en g/(cm²*min^{0.5})

M= Masa del agua absorbida en el ensaye (M1-Ms)

M1= Masa húmeda en (g)

Ms= Masa seca (g)

S= Superficie de la cara sumergida en (cm²)

t= Tiempo de inmersión en (min)

Una vez llevada a cabo la prueba se registra los datos, con estos resultados se toman decisiones respecto al diseño de la mezcla.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados tanto de la caracterización de los materiales de partida por diferentes técnicas Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Difracción de Rayos X (DRX), de los materiales pétreos, ceniza volante y cemento, así como la prueba de resistencia a la compresión y la absorción por capilaridad, estas bajo los lineamientos del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE).

Arena

La arena es un material pétreo también conocido como “finos” es extraído de minas establecidas, estas minas generalmente se encuentran a las afueras de las ciudades pues estas requieren de grandes extensiones de terreno.



Figura 35 Mina de arena

La extracción de los materiales pétreos se hace por maquinaria pesada, es importante señalar que los estratos de la mina son cambiantes por lo que la producción de arena tiene algunas variables, después estos materiales pétreos son pasados por cribas para separar por tamaño las partículas obtenidas, una vez estos materiales son separados se les puede denominar arena o grava según sea el caso. En la figura 35 se muestra una mina de arena y grava, que tienen como uso la fabricación de blocks vibro-compactados.

Una de las primeras pruebas que se realiza a la arena es la granulometría lo que permite en primer instancia clasificar su módulo de finura. Sin olvidar que se necesita realizar el procedimiento indicado por las normas ONNCCE.



Figura 36 Preparación de muestra de arena para prueba de granulometría de arena

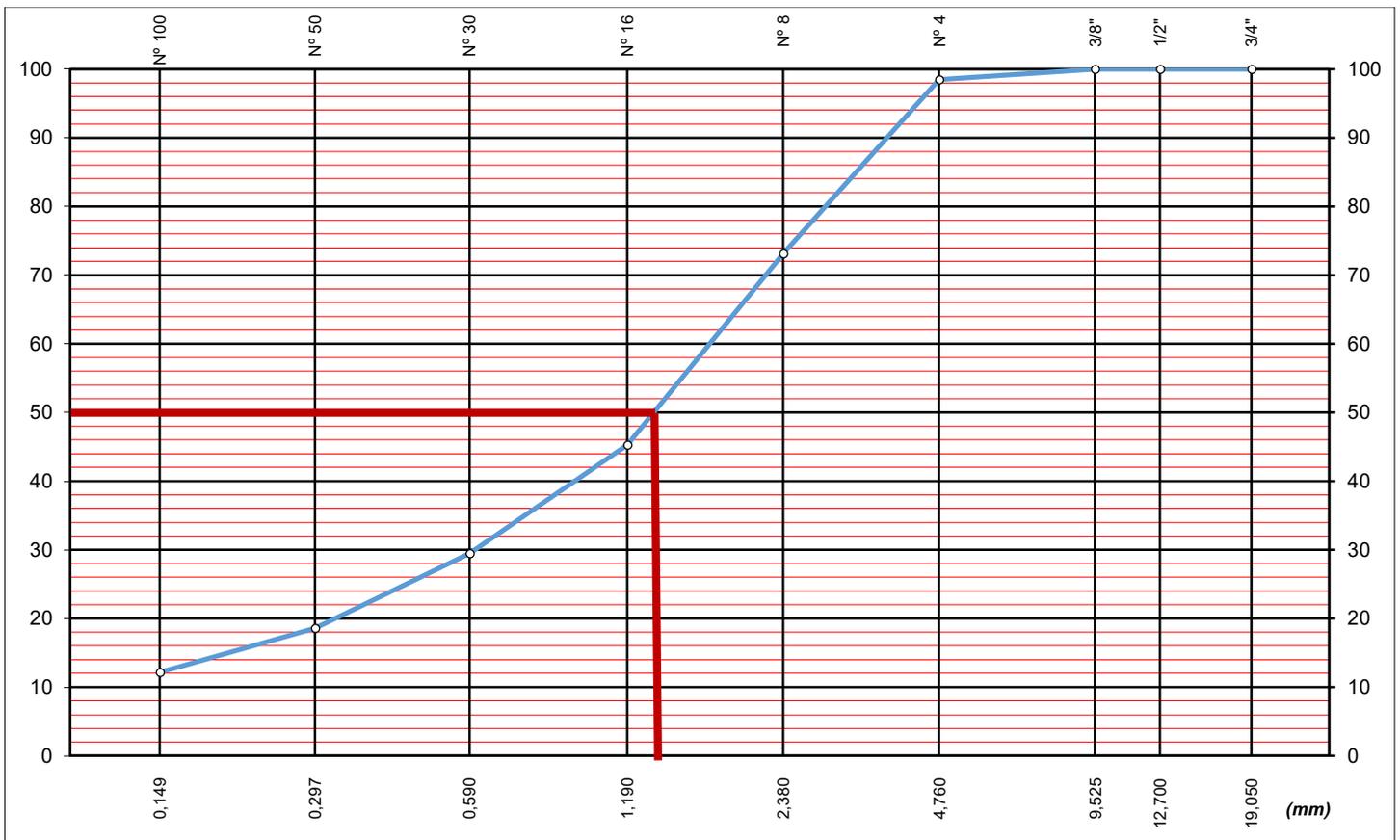
Una vez las muestras son obtenidas se preparan la prueba de granulometría y se hacen pasar por mallas, después de esto se pesa la masa retenida por malla.

GRANULOMETRÍA (ARENA)

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RET (gr)	RET (%)	RET ACUM (%)	PASA (%)
3/4"	19.050	0	-	-	100
1/2"	12.700	0	-	-	100
3/8"	9.525	0	-	-	100
N° 4	4.760	0.012	2	2	98
N° 8	2.380	0.198	25	27	73
N°16	1.190	0.217	28	55	45
N° 30	0.590	0.123	16	71	29
N° 50	0.297	0.085	11	81	19
N° 100	0.149	0.05	6	88	12
-100		0.095	12		0

Tabla 13 Granulometría de la Arena.

En la tabla 13 se muestran las masas retenidas en cada malla así como el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa por cada malla, en esta tabla también podemos ver que el mayor porcentaje retenido es de 28% la cual se muestra en la malla N° 16, lo que significa que las partículas con tamaño entre 2.38 mm y 1.19mm representan mayoritariamente la masa de la muestra de la arena en estudio. De igual manera podemos observar que las masas retenidas comienzan a partir de la malla N° 4, lo que está en cumplimiento de las normas ONNCCE para los agregados finos.



Gráfica 1 Granulometría de la Arena.

La gráfica 1 es la representación visual de la granulometría lo que permite ver el comportamiento de las masas retenidas en cada malla. Y obtener un tamaño medio de partícula

En base a la gráfica y a los datos podemos obtener el módulo de finura (mf) que es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas (tamises) de la serie propuesta por la ONNCCE divididos entre 100.

$$mf = \frac{\sum \% \text{ retenidos}}{100}$$

Con los datos de la tabla 13 se desarrolla la fórmula de módulo de finura:

$$mf (arena) = \frac{2 + 25 + 28 + 16 + 11 + 6}{100}$$

$$mf (arena) = \frac{323}{100}$$

$$mf (arena) = 3.23$$

El módulo de finura de la muestra de la arena en estudio es de 3.23, este dato representara el lote de total de la arena, es importante señalar que un buen procedimiento de la recolección y reducción de la muestra, nos dará certeza de que este dato representa el total de la arena de la cual se extrajo la muestra. Este dato es determinante para el diseño de la mezcla.

Otra técnica de caracterización realizada a la arena es la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) llevada a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un equipo JOEL JSM-IT300, en la cual se obtuvieron 3 micrografías de una muestra característica de la arena, después de ser molida con un mortero de agata hasta pasar por una malla 200, recubiertas con un plasma de oro por 15 segundos para obtener imágenes una mayor calidad con un equipo DENTON VACUUM, todas las micrografías son tomadas a 30 kv y una distancia de trabajo de 9.6 milímetros, la figura 38 está tomada a 100 aumentos y la figura 37 y 39 están tomadas a 2000 aumentos.

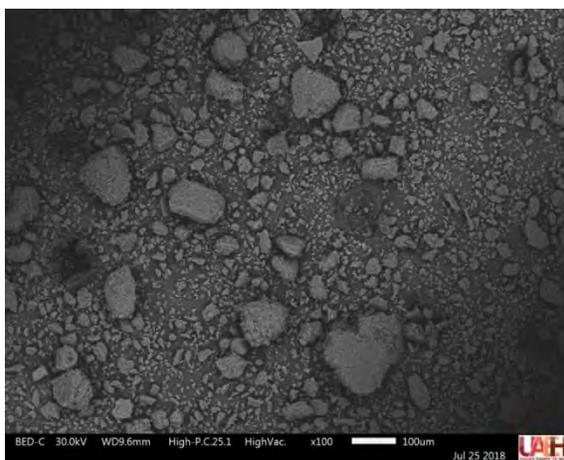


Figura 38 Fotografía de la Arena por MEB a 100 aumentos

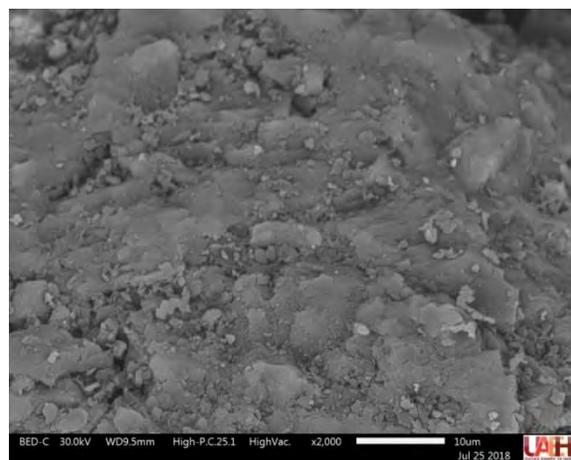


Figura 37 Fotografía de la Arena por MEB a 2000 aumentos

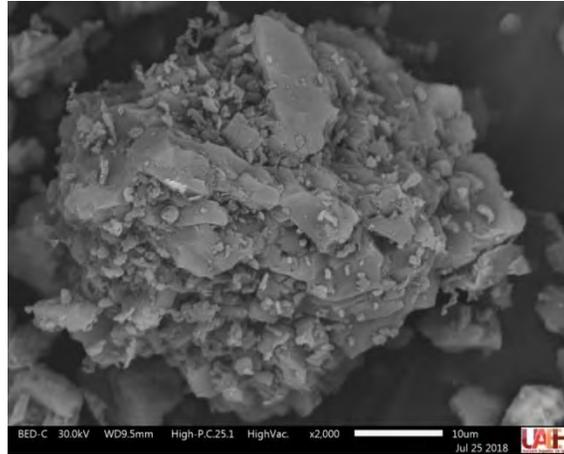


Figura 39 Fotografía de la Arena por MEB a 2000 aumentos

En la Figura 38 se muestra una fotografía de la arena tomada por MEB a 100 aumentos, podemos observar que existen distintos tamaños de partícula, donde la más grande tiene 120 micras, estas se aprecian están aglomeradas, son angulosas semiesféricas y con una superficie rugosa.

En la Figura 37 se muestra una fotografía de la arena tomada por MEB a 2000 aumentos, podemos apreciar la superficie de las partículas vistas en la figura 38, en esta superficie podemos ver partículas más pequeñas de un tamaño aproximado de una micra, adheridas a la superficie de la partícula en análisis, podemos decir que esta superficie es rugosa y angulosa.

En la figura se muestra una fotografía de la arena tomada por MEB a 2000 aumentos, donde la partícula tiene un tamaño de 45 micras, semiesférica, es su superficie podemos ver partículas adheridas de aproximadamente una micra, es posible apreciar área fracturadas con una longitud de 10 micras, tiene cavidades micrométricas, su superficie es angular y rugosa con excepción de las fracturas donde la superficie es parcialmente lisa.

Por las anteriores micrografías podemos decir que las partículas de la arena en estudio son generalmente semiesféricas, presentan cavidades micrométricas, sobre las partículas más de mayor tamaño se adhieren partículas más pequeñas generando aglomerados, con una superficie angular y rugosa.

Debemos recordar que tanto la granulometría como la microscopia electrónica de barrido nos dan características físicas de la arena, pero también se llevó a cabo un análisis químico con la Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS), que es una técnica acoplada del Microscopio Electrónico de Barrido, es decir este XEDS se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un equipo JOEL JSM-IT300.

A continuación, se muestra el análisis Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS) de la Arena.

Electron Image 175

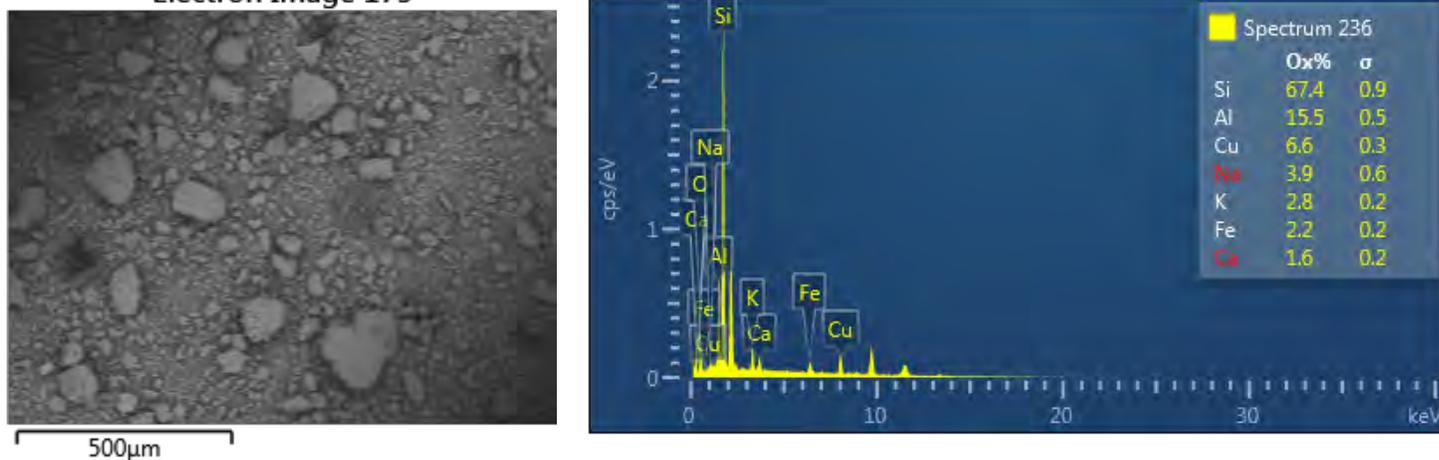


Figura 40 Análisis elemental de la Arena por (XEDS) imagen y espectro

Element	Wt%	Oxide %
O	46.95	
Na	2.92	3.93
Al	8.18	15.45
Si	31.53	67.44
K	2.31	2.78
Ca	1.14	1.6
Fe	1.74	2.24
Cu	5.24	6.56

Tabla 14 Análisis elemental de la Arena por (XEDS), tabla de óxidos.

En la figura 40 se muestra la imagen 175 esta representa el área de análisis elemental de la arena por XEDS y a su lado se encuentra el espectrograma que resulta del análisis, en este podemos ver que el pico más representativo es el silicio con un porcentaje en masa del 31.56 lo que es característico de las arenas usadas para la construcción.

La tabla 14 muestra los porcentajes de masa así como los porcentajes de óxidos resultado del XEDS presentes en la arena, podemos apreciar que el elemento con mayor masa es el oxígeno y el silicio, en porcentajes de óxidos presentes, se tiene como principal, el óxido de silicio con un 67.44% y el óxido de aluminio con un 15.45%, siendo estos más del 80%, lo que es característico de las arenas.

Para complementar una caracterización química se utiliza también la técnica llamada Difracción de Rayos X que nos permitirá conocer las fases presentes en la ARENA. Para lo cual se ocupó el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de 5° a 100° utilizando radiación de Cobalto (CoK α 1), en las instalaciones de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

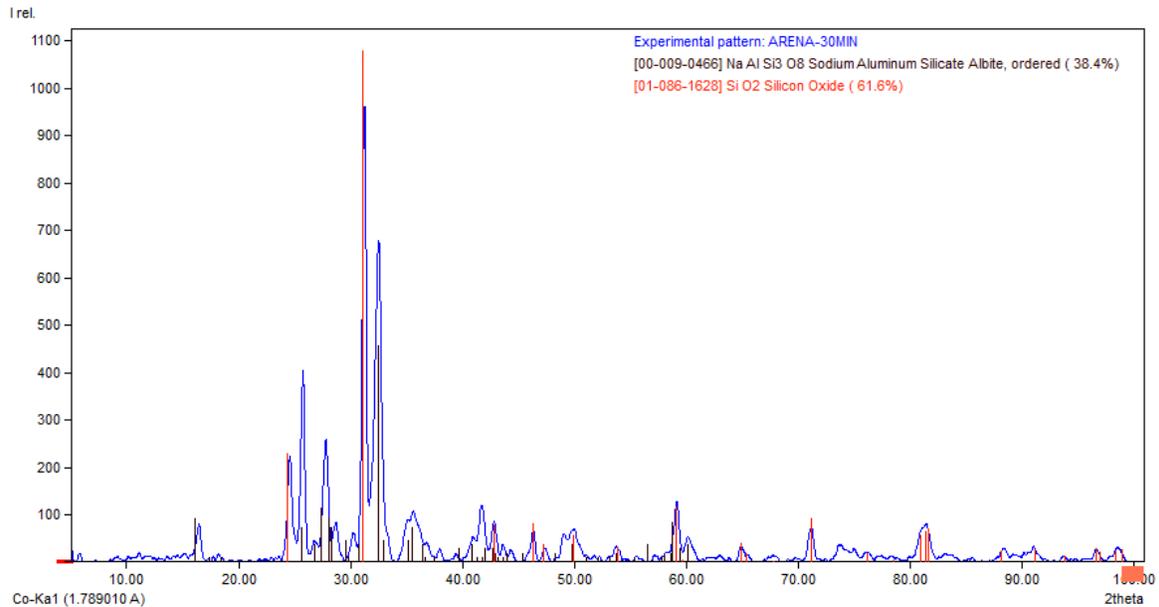


Figura 41 Difracto grama del material pétreo ARENA

Grava

Al igual que la arena la grava es un material pétreo también conocido como “gruesos” son extraídos de yacimientos cercanos a la planta de fabricación de los blocks, en ocasiones son recuperados de la misma mina de las arenas o finos,



Figura 42 Mina de grava



Figura 43 Mina de grava (uso de maquinaria pesada)

En la figura 42 y 43 podemos ver una mina de grava, así como la maquinaria que se usa para su extracción.

La primera prueba que se le realiza a la grava es la granulometría, la cual debe llevarse a cabo bajo los lineamientos de la normativa ONNCCE, lo que nos permitirá calcular su módulo de finura.



Figura 44 Cuarteador de acero inoxidable



Figura 45 RO-TAP (equipo para granulometría)

Una vez la graba se extrae de la mina esta es colocada en la plata que fabrica los blocks de concreto, de aquí se extrae una muestra representativa que después debe reducirse hasta las especificaciones de la ONNCCE, esta muestra es pasada por mallas con ayuda del RO-TAP (equipo para sacudir las tamices en las tres direcciones). En seguida se miden las masas del material retenido en cada malla registran para cálculos posteriores.



Figura 46 Preparación de muestra de arena para prueba de granulometría de arena

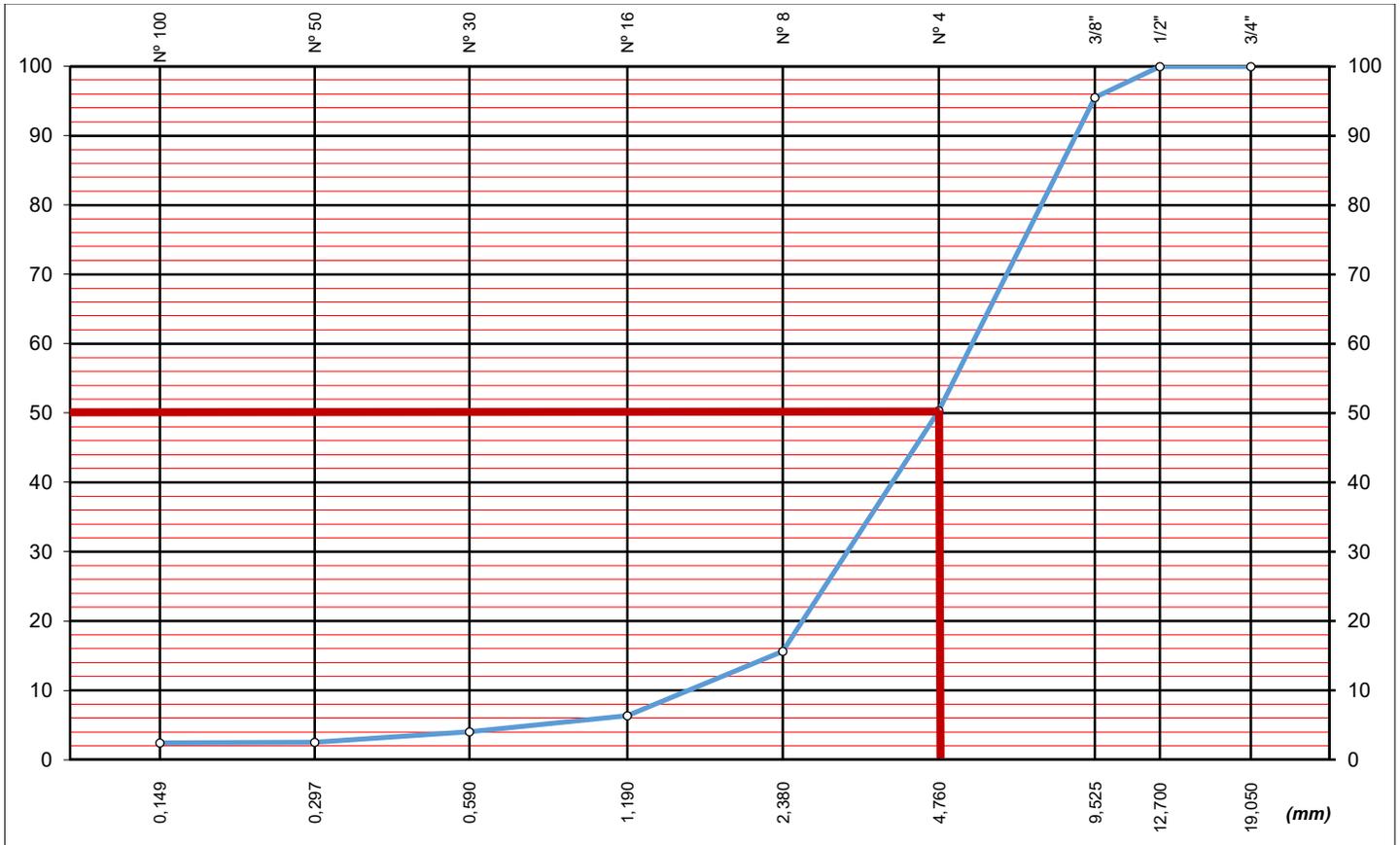
GRANULOMETRÍA (GRAVA)

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RET (gr)	RET (%)	RET ACUM (%)	PASA (%)
3/4"	19.050	0	-	-	100
1/2"	12.700	0	-	-	100
3/8"	9.525	0.033	4	4	96
N° 4	4.760	0.334	45	50	50
N° 8	2.380	0.256	35	84	16
N° 16	1.190	0.069	9	94	6
N° 30	0.590	0.017	2	96	4
N° 50	0.297	0.011	1	97	3
N° 100	0.149	0.0007	0	98	2
-100		0.018	2		0

Tabla 15 Granulometría de la Grava

En la tabla 15 se muestran las masas retenidas en cada malla así como el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa por cada malla, en los datos podemos observar

que el mayor porcentaje retenido se encuentra en la malla numero 4 con un 45% lo que significa que casi la mitad de masa del total de la muestra de grava en estudio tiene un tamaño de partícula entre 2.38mm y 4.76mm, así como un tamaño máximo de agregado (TMA) de 9.52mm o 3/8”.



Gráfica 2 Granulometría de la Grava

La gráfica 2 es una representación visual de la granulometría algunas veces llamada curva granulométrica, esta nos permite apreciar el comportamiento de la masa retenidas por malla y poder obtener un tamaño medio de partícula que en este caso es de 4.76mm.

En base a la gráfica y a los datos podemos obtener el módulo de finura (mf) que es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas (tamises) de la serie propuesta por la ONNCCE divididas entre 100.

$$mf = \frac{\sum \% \text{ retenidos}}{100}$$

Con los datos de la tabla 15 se desarrolla la fórmula de módulo de finura:

$$mf(\text{grava}) = \frac{4 + 50 + 84 + 94 + 96 + 97 + 98}{100}$$

$$mf(\text{grava}) = \frac{523}{100}$$

$$mf(\text{grava}) = 5.23$$

El módulo de finura de la muestra de la grava en estudio es de 5.23, este dato representara el lote de total de la grava, es importante señalar que un buen procedimiento de la recolección y reducción de la muestra, nos dará certeza de que este dato representa el total de la arena de la cual se extrajo la muestra. Este dato es determinante para el diseño de la mezcla.

Para complementar una caracterización química se utiliza también la técnica llamada Difracción de Rayos X que nos permitirá conocer las fases presentes en la GRAVA. Para lo cual se ocupó el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de 5° a 100° utilizando radiación de Cobalto (CoK α 1), en las instalaciones de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

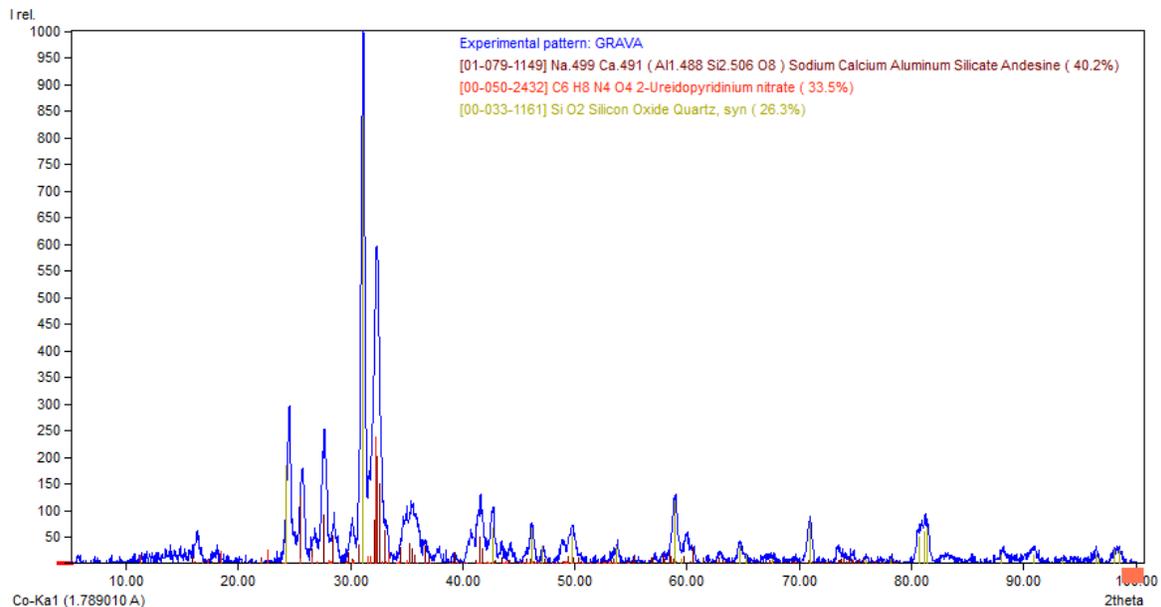


Figura 47 Difractograma de la grava

Cemento

Una de las técnicas de caracterización realizada al cemento es la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) llevada a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un equipo JOEL JSM-IT300, en la cual se obtuvieron 3 micrográficas de una muestra característica del cemento portland cedula 40 (CPO-40), esta muestra es extraída de un bulto de cemento (50 kg), después es recubierta con plasma de oro por 15 segundos para obtener imágenes una mayor calidad con un equipo DENTON VACUUM, todas las micrográficas son tomadas a 30 kv y una distancia de trabajo de 9.8 milímetros.

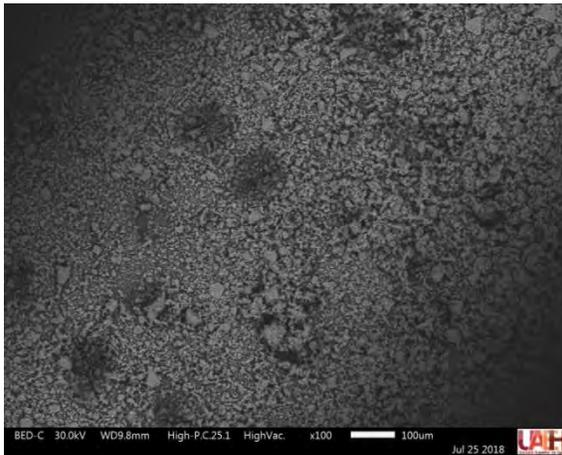


Figura 48 Fotografía de la CPO-40 por MEB a 100 aumentos

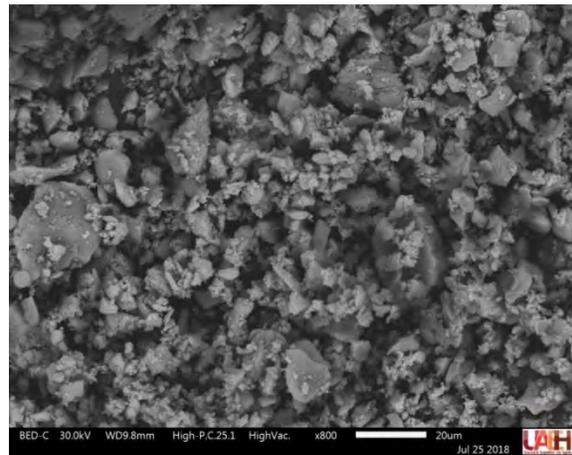


Figura 49 Fotografía de la CPO-40 por MEB a 800 aumentos

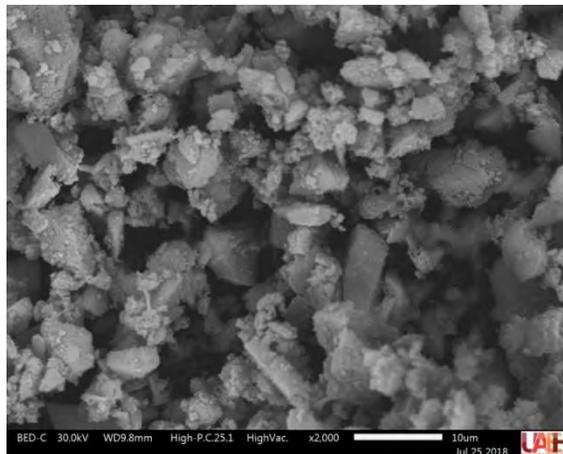


Figura 50 Fotografía de la CPO por MEB a 2000 aumentos

En la figura 48 se muestra una micrografía del cemento (CPO-40) tomada por MEB a 100 aumentos, podemos ver que la distribución de tamaños de partícula es relativamente uniforme, con estos aumentos no es posible determinar el tamaño de partícula y se observan algunos aglomerados.

En la figura 49 se muestra una micrografía del cemento (CPO-40) tomada por MEB a 800 aumentos, podemos ver partículas con un tamaño de 20 micras, estas son sólidas, presentan caras lisas y angulares, rodeadas de partículas más pequeñas del orden de 1 a 2 micras, de estas podemos ver únicamente 5 partículas con estas características, también podemos observar otro tipo de partículas más pequeñas con un promedio estimado de 3 micras, con una superficie muy irregular tipo palomitas y prácticamente estas partículas cubren toda la imagen.

En la figura 50 se muestra una micrografía del cemento (CPO-40) tomada por MEB a 2000 aumentos, podemos ver algunos aglomerados de partículas del orden de 1 a 5 micras, estas tienen un aspecto esponjoso con una forma irregular, hay otras partículas con una forma prismática de aproximadamente 2 x 5 micras, con caras definidas y sólidas.

Con las micrografías mostradas, podemos decir que el cemento CPO-40 está compuesto por partículas del orden de 1 a 10 micras, estas tienen dos formas principales, las primeras son totalmente amorfas y constituyen casi en su mayoría al cemento, y las segundas son prismáticas y en menor cantidad.

Al igual que la arena las técnicas de granulometría y microscopía electrónica de barrido nos dan características físicas de la grava, pero también se llevó a cabo un análisis químico con la Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS), que es una técnica acoplada del Microscopio Electrónico de Barrido, es decir este XEDS se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un equipo JOEL JSM-IT300.



Figura 51 Muestra de preparada de grava para XEDS

A continuación, se muestra la espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva. (XEDS) del Cemento Portland CPO-40.

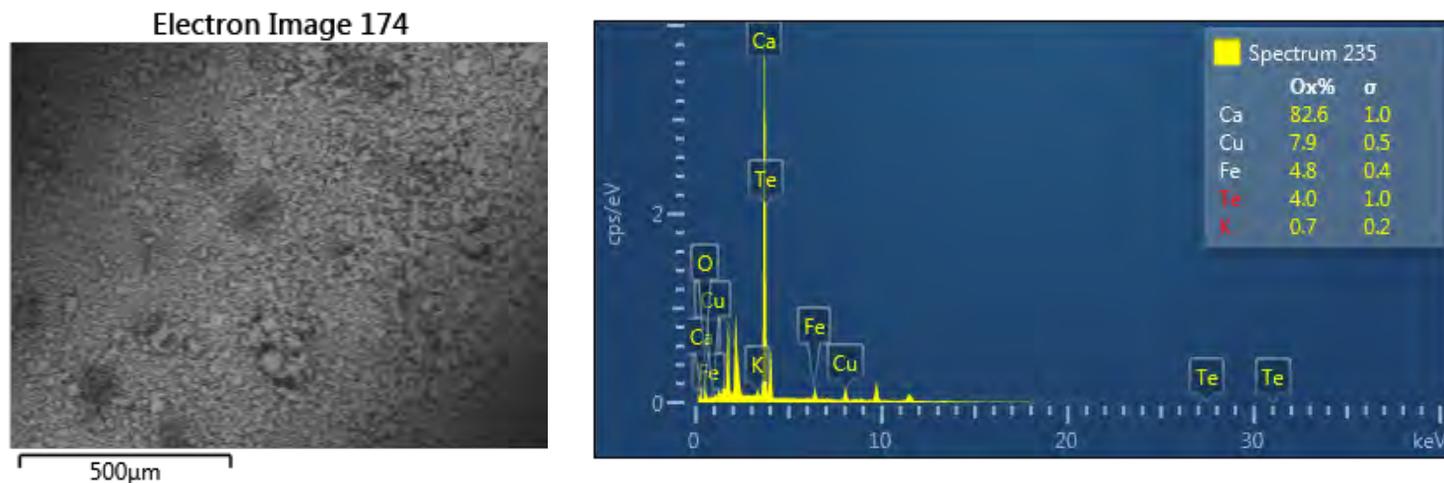


Figura 52 Análisis elemental del CPO por (XEDS) imagen y espectro.

Element	Wt%	Oxide %
O	27.14	
K	0.61	0.74
Ca	59.01	82.56
Fe	3.74	4.81
Cu	6.32	7.91
Te	3.18	3.98
Total:	100	100

Tabla 16 Análisis elemental del CPO por (XEDS).

En la figura 52 se muestra la imagen 174 que representa el área del análisis elemental del cemento por XEDS y a su lado se encuentra el espectrograma que resulta de dicho análisis, en este se aprecia que el pico más representativo es correspondiente al calcio.

En la tabla 16 están representados los porcentajes de masa y de óxidos presentes en la muestra de cemento CPO-40, en masa el calcio representa el 59.01% del total de la masa y el óxido con mayor porcentaje es el de calcio con un 82.56% lo que es característico de los cementos portland.

Para complementar una caracterización química se utiliza también la técnica llamada Difracción de Rayos X que nos permitirá conocer las fases presentes en la GRAVA. Para lo cual se ocupó el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de 5° a 100° utilizando radiación de Cobalto (CoK α 1), en las instalaciones de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

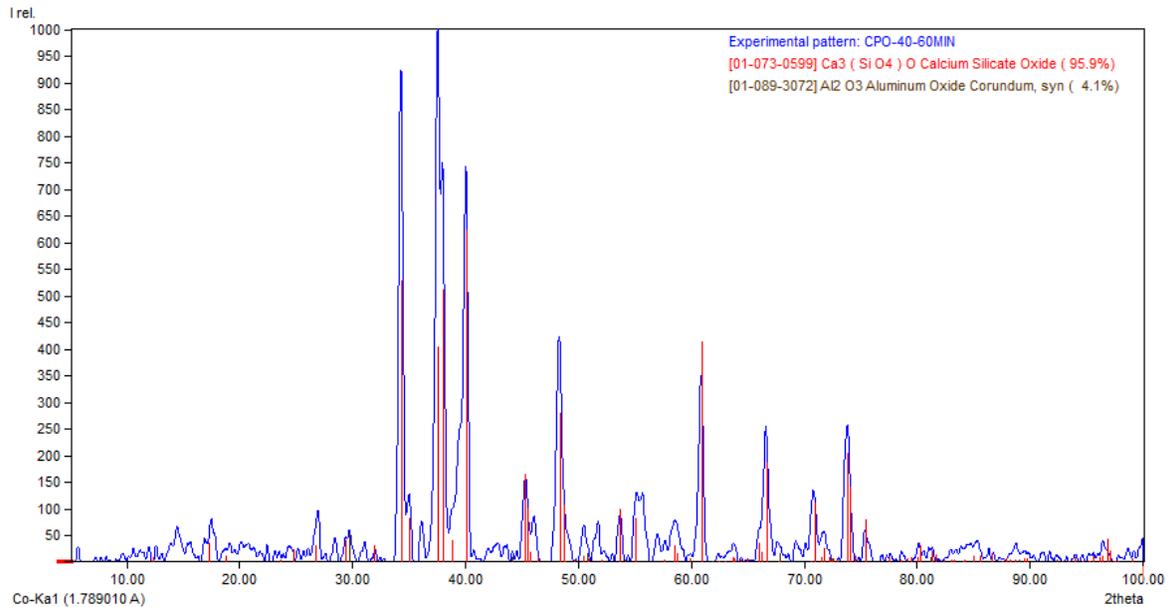


Figura 53 Difractograma del cemento

Ceniza volante

Una de las técnicas de caracterización realizada a la ceniza volante es la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) llevada a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un equipo JOEL JSM-IT300, en la cual se obtuvieron 4 micrográficas de una muestra característica de la ceniza volante, esta muestra es extraída de la ceniza empleada en la experimentación, después es recubierta con plasma de oro por 15 segundos para obtener imágenes una mayor calidad con un equipo DENTON VACUUM, todas las micrográficas son tomadas a 30 kv y una distancia de trabajo de 9.5 milímetros.



Figura 56 Equipo para recubrir con oro las muestras para MEB



Figura 55 Interior de un MEB



Figura 54 Microscopio Electrónico de Barrido

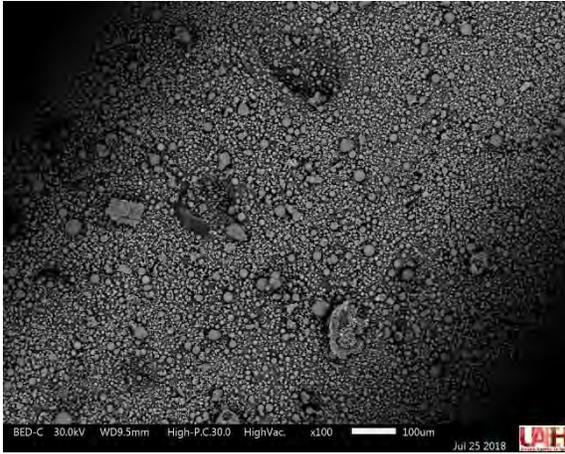


Figura 57 Ceniza Volante por MEB a 100 aumentos

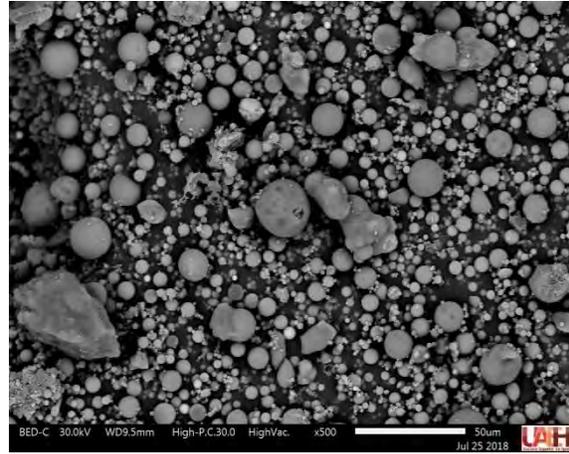


Figura 58 Ceniza Volante por MEB a 500 aumentos

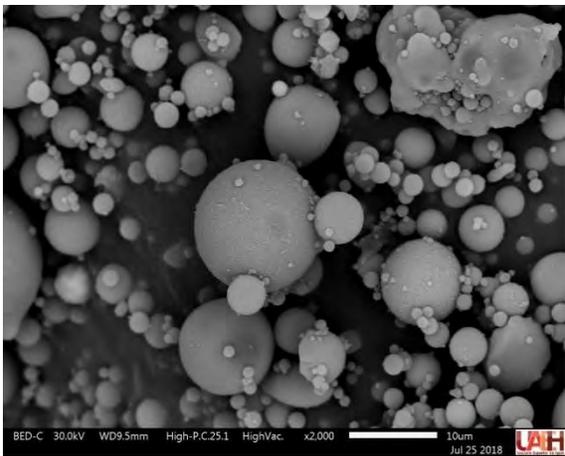


Figura 59 Ceniza Volante por MEB a 2000 aumentos

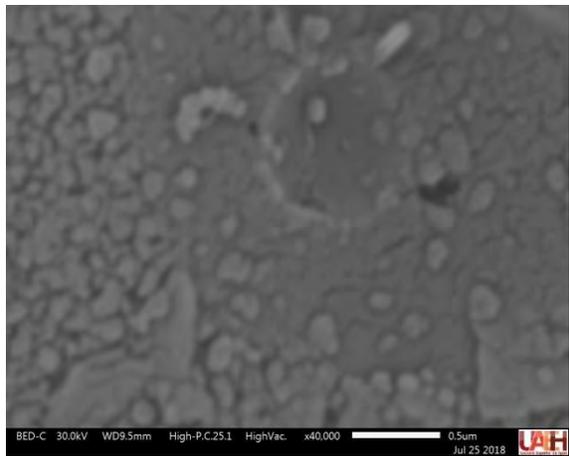


Figura 60 Ceniza Volante por MEB a 40000 aumentos

En la Figura 57 se muestra una micrografía de la ceniza volante, tomada por MEB a 100 aumentos podemos observar cierta homogeneidad de los tamaños de partícula, así como una morfología esférica, aunque de igual manera son visibles algunas partículas angulosas, estas últimas resaltan por su tamaño que van de 20 a 100 micras, de las partículas más pequeñas no es posible determinar su tamaño a estos aumentos.

En la Figura 58 se muestra una micrografía de la ceniza volante, tomada por MEB a 500 aumentos, en esta podemos identificar una partícula que destaca por su tamaño de 35 micras con caras angulosas con una superficie sólida y lisa, el resto de las partículas son en gran mayoría esféricas donde la más grande alcanza las 20 micras y el resto son de menor tamaño, se puede apreciar son totalmente esféricas con una superficie sólida y lisa.

En la figura 59 se muestra una micrografía de la ceniza volante, tomada por MEB a 2000 aumentos, en esta imagen predominan las partículas totalmente esféricas, con

un tamaño entre 1 y 15 micras, puede apreciarse que las partículas más pequeñas rodean las más grandes, no presentan poros ni protuberancias, son sólidas y lisas.

Las figuras de la 57 a la 60, son características de una ceniza volante y coinciden con lo publicado por Kutchno y colaboradores en el 2006, donde presentan una caracterización de ceniza volante clase F[11], con excepción de la partícula angulosa de la figura 58, que podría atribuirse a una contaminación en la muestra.

Utilizando el mismo equipo JOEL JSM-IT300, se realizó un análisis elemental de la misma muestra de ceniza volante, hay que recordar que está recubierta con plasma de oro por 15 segundos para obtener imágenes con una mayor calidad, el recubrimiento se realizó con un equipo DENTON VACUUM. A continuación, se presenta los resultados de la ceniza volante por Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva (XEDS), en distintas zonas.

Electron Image 171

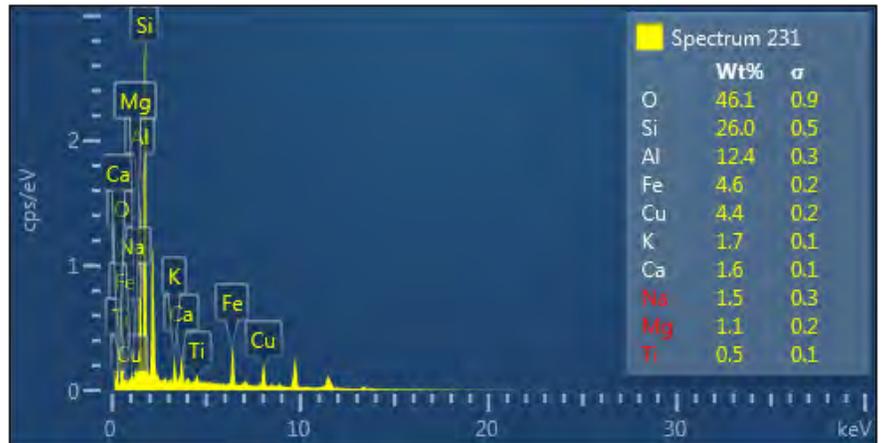
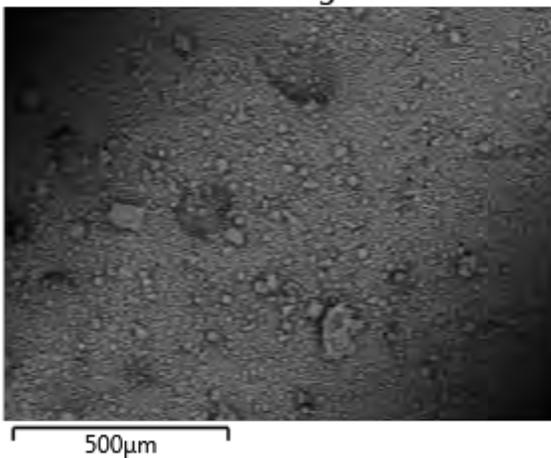


Figura 61 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona

Electron Image 172

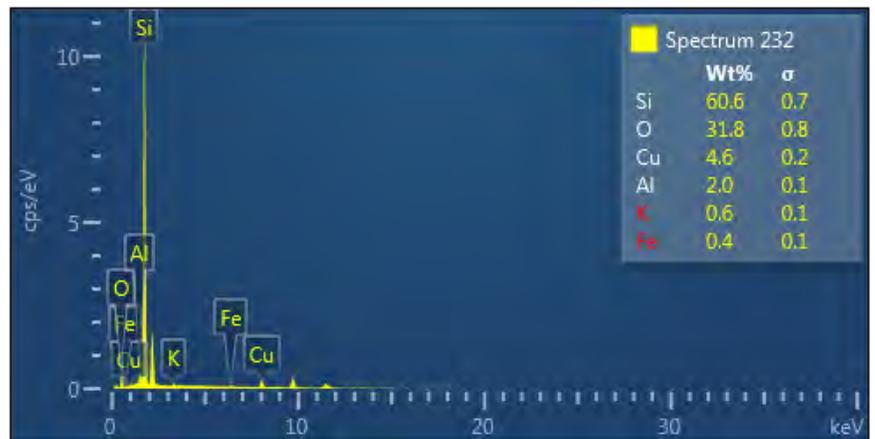
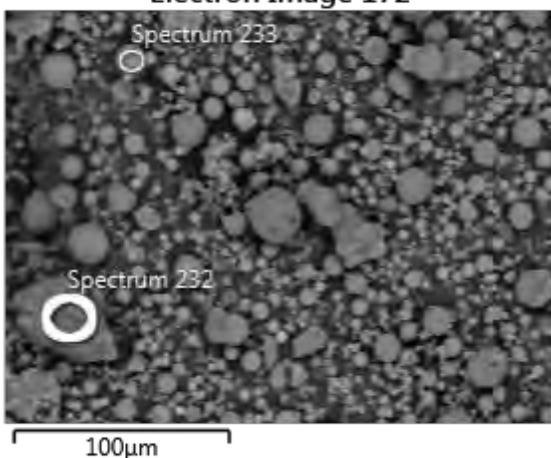


Figura 62 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona en partícula angulosa.

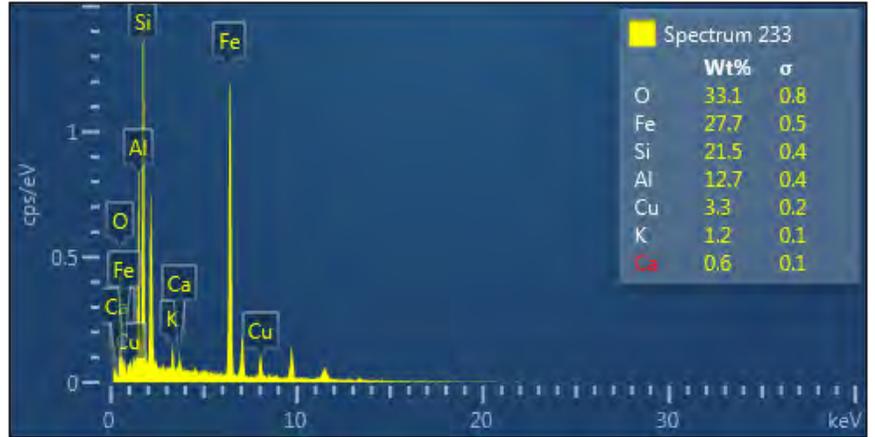
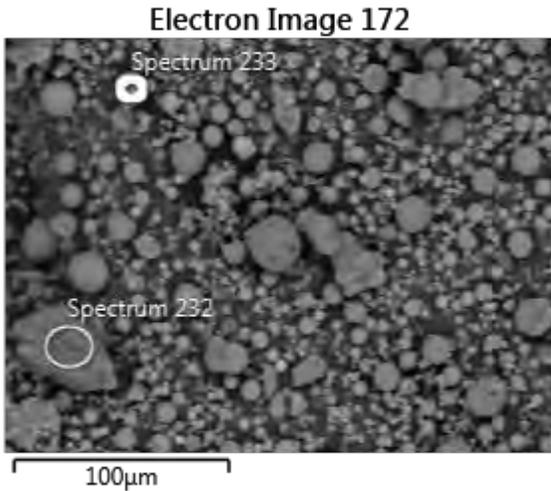


Figura 63 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), por zona en partícula esférica

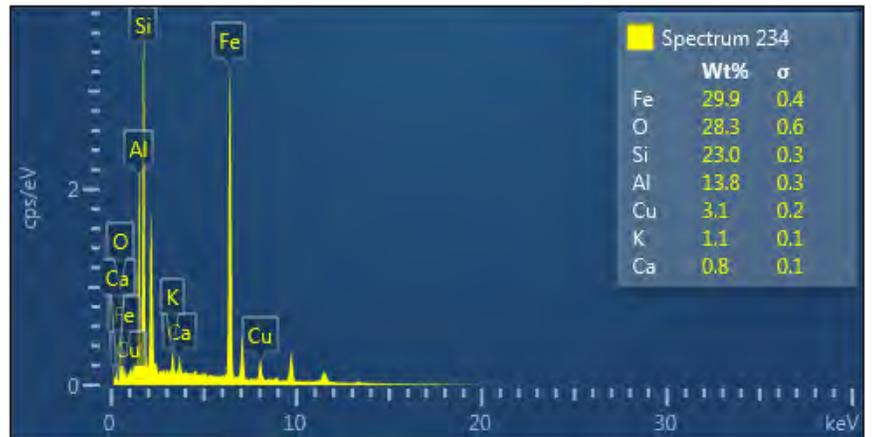
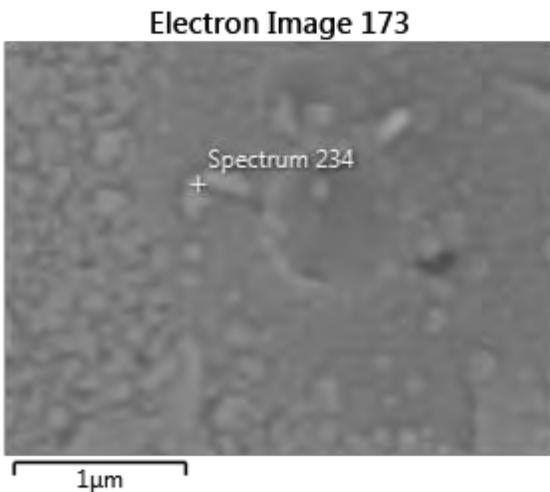


Figura 64 Análisis elemental de Ceniza Volante por (XEDS), puntual en una escama de la partícula esférica.

La figura 61 muestra el análisis elemental realizado a la ceniza volante por medio de XEDS en él se muestra la imagen 171 que es la zona donde se llevó a cabo la prueba, también se muestra el espectrograma resultante, así como los porcentajes de masa de cada elemento encontrado, podemos ver que el oxígeno, silicio y el aluminio son los tres elementos con mayor porcentaje en masa respectivamente.

En la figura 62 se muestra un análisis elemental por XEDS realizado por zona (circulo blanco) en una partícula angular, encontrada en la muestra de la ceniza volante, en el espectrograma podemos ver que el elemento con mayor porcentaje de masa encontrado es el silicio con un 60.6%. De igual manera se realiza un análisis por zona de una partícula esférica, esta se muestra en la figura 63, donde podemos apreciar que el oxígeno, hierro, sílice y aluminio son los de mayor presencia respectivamente.

Por último, se realizó un análisis elemental puntual en una especie de escama que se encuentra en las partículas esféricas de la ceniza volante, que se muestra en la figura 64, en esta podemos ver el espectrograma que a diferencia de los anteriores análisis el hierro es el elemento de mayor porcentaje en masa por encima del oxígeno.

	171	172 a)	172 b)	173
Element	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
O	46.09	31.83	33.08	28.34
Na	1.47			
Mg	1.14			
Al	12.37	1.97	12.72	13.82
Si	25.98	60.63	21.47	23
K	1.71	0.61	1.17	1.11
Ca	1.63		0.64	0.82
Ti	0.53			
Fe	4.64	0.37	27.67	29.86
Cu	4.43	4.59	3.25	3.05
Total:	100	100	100	100

Tabla 17 Concentrado resultados de (EDS) de Ceniza Volante.

La tabla 17 muestra un concentrado de los porcentajes de masa encontrados con la técnica de Espectrometría de dispersión de energía de rayos (XEDS). Se presentan los resultados en distintas zonas de la muestra de la ceniza volante, y podemos decir que los porcentajes de los elementos encontrados son muy similares con excepción de la realizada en la zona 172 a) pues podemos ver que el porcentaje de silicio es de 60.63 que es más del doble que lo encontrado en los tres análisis restantes, por ello podemos decir que esta partícula angular es posiblemente una contaminación de la ceniza volante, también podemos decir que la ceniza volante se compone principalmente de oxígeno, hierro, silicio y aluminio algo que es característico de la ceniza.

Para complementar una caracterización química se utiliza también la técnica llamada Difracción de Rayos X que nos permitirá conocer las fases presentes en la ceniza volante. Para lo cual se ocupó el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de 5° a 100° utilizando radiación de Cobalto (CoK α 1), en las instalaciones de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

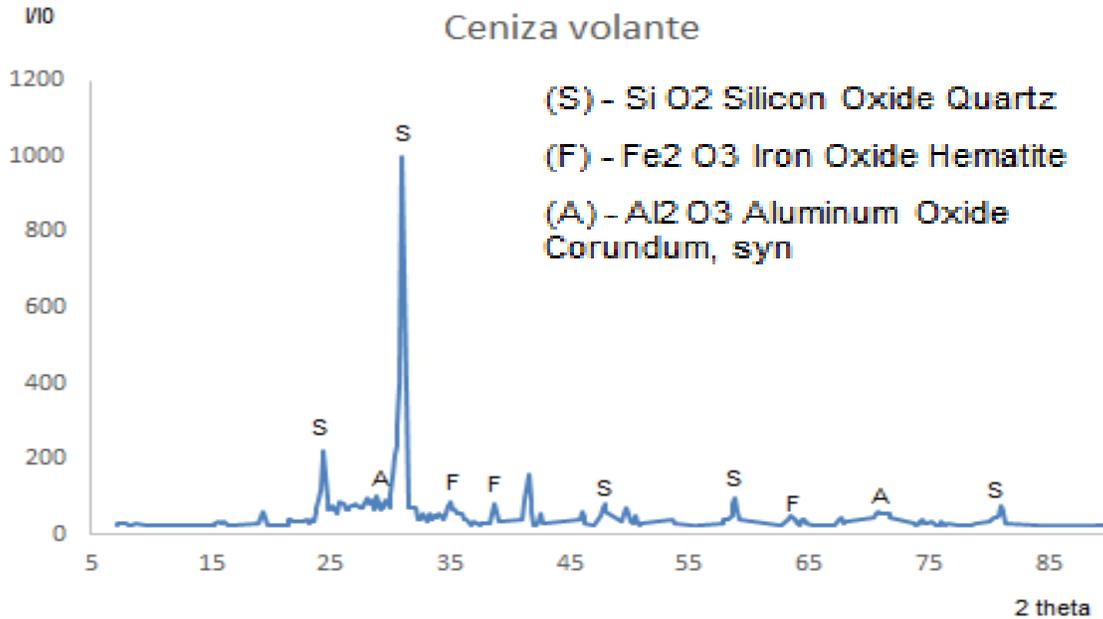


Figura 65 Difractograma de Ceniza Volante

En la figura 65 se muestra el difractograma de la ceniza volante corrida por 30 minutos, el pico típico de la ceniza se encuentra en $31.02^\circ 2\Theta$, representado con la letra (S) correspondiente a la fase del cuarzo (Si O_2) e identificado en el número de entrada (01-070-3755), de la misma manera se identificaron la fase de óxido de hierro $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ (hematita) y una especie de óxido de aluminio $\text{Al}_2 \text{O}_3$, con los números de identificación (01-085-0599 y 01-089-3072) respectivamente, estas fases son características de la ceniza volante como lo describe Aleksandra Stoch [12] y L. Y. Gómez [13].

Evaluación de resistencia, densidad y absorción inicial

La evaluación de las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y la absorción inicial se llevan a cabo en los bloques de concreto ya endurecidos, para la resistencia a la compresión se realizan tres pruebas a 7, 14 y 28 días, la absorción inicial se ejecuta a los 28 días, ambas pruebas bajo los lineamientos de la normativa ONNCCE.

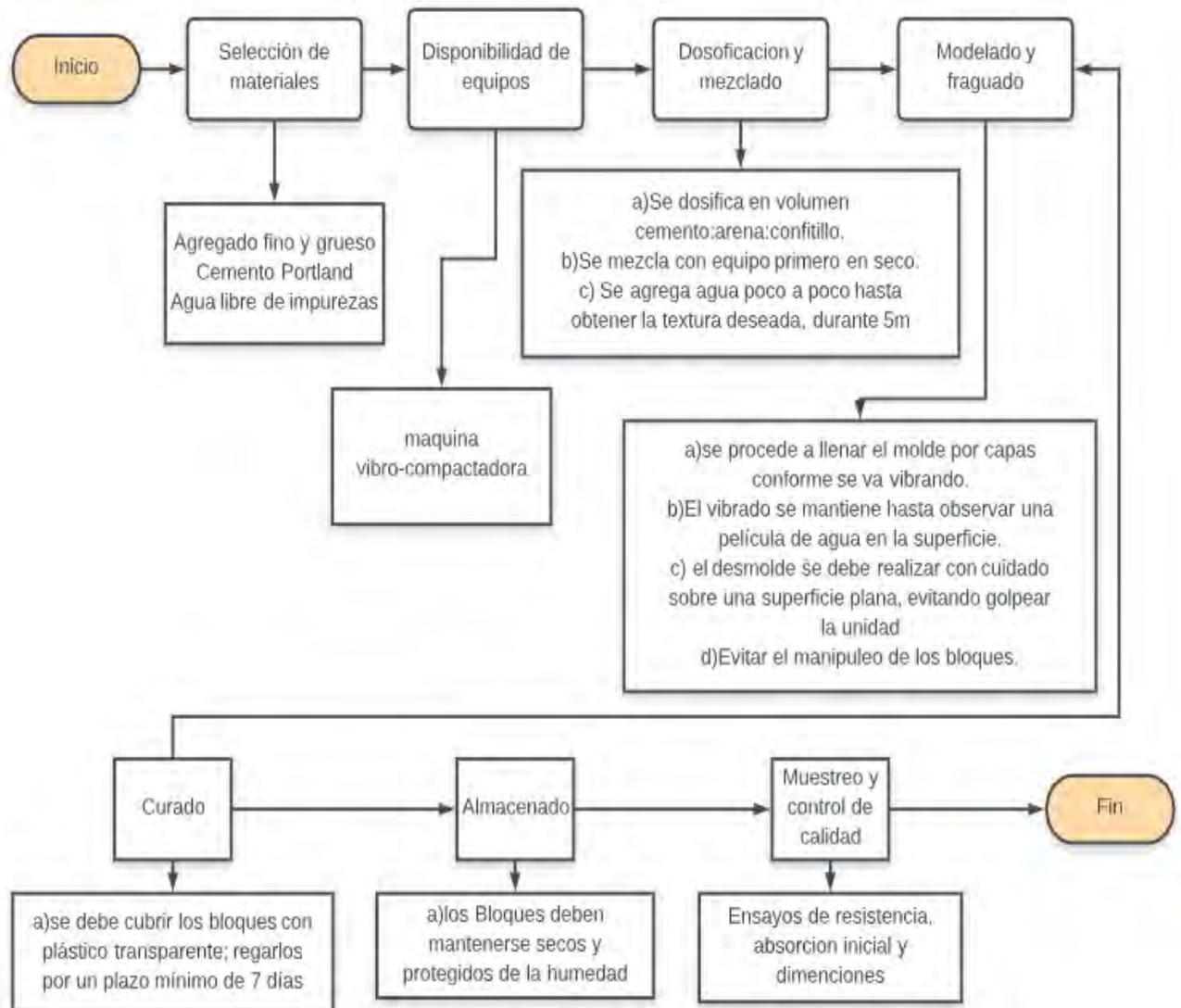


Diagrama de flujo 2 Proceso de fabricación de Blocks

En el diagrama de flujo 2 se muestra el proceso de fabricación de los bloques de concreto, y uno de los pasos es el muestreo y control de calidad, en este punto es cuando los especímenes son puestos a prueba.

Hay que tener presentes los parámetros determinados por la NMX-C-404-ONNCCE

- Resistencia a la compresión de bloques no estructurales es de 35 kg/cm²

- Resistencia a la compresión de blocks estructurales es de 90 kg/cm²
- El valor máximo para absorción inicial es de 7.5 como coeficiente de absorción inicial.

Cada lote que se evaluó, fue fabricado el mismo día bajo las mismas condiciones, se presentan tres tablas, cada una expresa los datos registrados de las pruebas, de resistencia a la compresión y de absorción inicial. Es imprescindible tener un valor de referencia por los que los diseños serán comprados con una mezcla en condiciones normales.

En la tabla 18 se muestran los resultados del lote uno.

Muestra 1	testigo
Muestra 2	30 % de impercem sustitución
Muestra 3	ceniza volante 10 % sustitución
Muestra 4	aditivo 1%

En la tabla 19 se muestran los resultados del lote dos.

Muestra 1	15 % de adición de ceniza
Muestra 2	15 % de sustitución de ceniza
Muestra 3	30 % de sustitución de ceniza
Muestra 4	50 % de sustitución de ceniza
Muestra 5	testigo

En la tabla 20 se muestran los resultados del lote tres.

Muestra 1	10 % de adición de ceniza menos 5 % de cemento
Muestra 2	aditivo 2.5%
Muestra 3	aditivo 2%, -10 % de ceniza + 5% de agua
Muestra 3.1	aditivo 2%, -10 % de ceniza



Figura 66 Placa cabeceadora.



Figura 67 Blocks cabeceados con mortero de azufre

Muestra	7 días de fabricación				14 días de fabricación				28 días de fabricación			
	testigo	30 % de impercem (sustitución)	ceniza 10 % (sustitución)	aditivo	testigo	30 % de impercem (sustitución)	ceniza 10 % (sustitución)	aditivo	testigo	30 % de impercem (sustitución)	ceniza 10 % (sustitución)	aditivo
Alto (cm)	19.8	19.9	19.9	19.9	19.9	19.7	19.8	20	19.8	20	19.9	20
Ancho (cm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Largo (cm)	39.9	39.9	39.9	39.9	40	40	40	40	40	40	39.9	39.9
M masa absorbida por el block (g)	350	325	565	325	445	370	260	310	320	410	240	260
M1 masa del block húmedo (g)	11205	11090	11210	10970	11350	10785	11475	11370	11480	11150	11430	11460
Ms masa seca del block (g)	10855	10765	10645	10645	10905	10415	11215	11060	11160	10740	11190	11200
S superficie de cara sumergida cm ²	790.02	794.01	794.01	794.01	796	788	792	800	792	800	794.01	798
t tiempo de inmersión (10 min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
cb coeficiente de absorción inicial g/(cm ² x min ⁻⁵)	14.0	12.9	22.5	12.9	17.7	14.9	10.4	12.3	12.8	16.2	9.6	10.3
resistencia a la compresión (kg/cm ²)	70.6	68.6	74.9	86.6	76.4	81.3	88.8	93.7	92.1	78.3	90.9	101.2

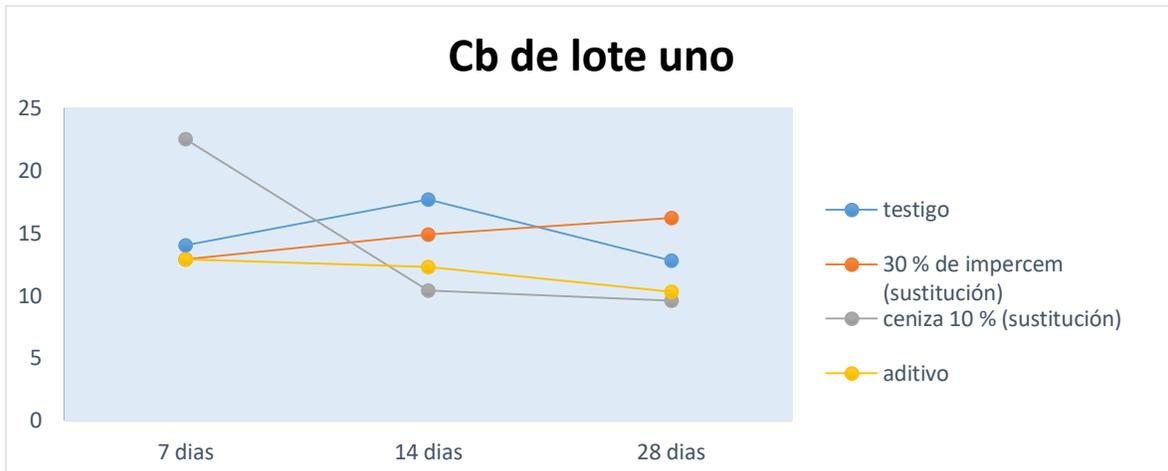
Tabla 18 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 1 de prueba.

Muestra	7 días de fabricación					14 días de fabricación					28 días de fabricación				
	15 % adición	15 % sustitución	30 % sustitución	50 % sustitución	testigo	15 % adición	15 % sustitución	30 % sustitución	50 % sustitución	testigo	15 % adición	15 % sustitución	30 % sustitución	50 % sustitución	testigo
Alto (cm)	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	20	20	19.9	20	20	20	19.9	19.9	19.9
Ancho (cm)	12	12.1	12.1	12	12.1	12	12	12	12	11.9	12	12	12	12	12
Largo (cm)	39.9	40	39.9	39.9	39.9	40	40	40	40	39.9	40	39.9	40	40	40
M masa absorbida por el block (g)	470	520	570	680	550	470	470	640	630	650	660	430	490	570	610
M1 masa del block húmedo (g)	11280	11230	11150	11210	11090	11180	11610	11240	11390	11410	11050	11260	11460	11300	11390
Ms masa seca del block (g)	10810	10710	10580	10530	10540	10710	11140	10600	10760	10760	10390	10830	10970	10730	10780
S superficie de cara sumergida cm ²	794.01	796	794.01	794.01	794.01	796	800	800	796	798	800	798	796	796	796
t tiempo de inmersión (10 min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
cb coeficiente de absorción inicial g/(cm ² x min ⁻⁵)	18.72	20.66	22.70	27.08	21.90	18.67	18.58	25.30	25.03	25.76	26.09	17.04	19.47	22.64	24.23
resistencia a la compresión (kg/cm ²)	57.85	44.48	43.94	29.77	43.2	69.35	56.83	53.17	34.83	53.31	72.45	70.61	65.29	51.67	71.23

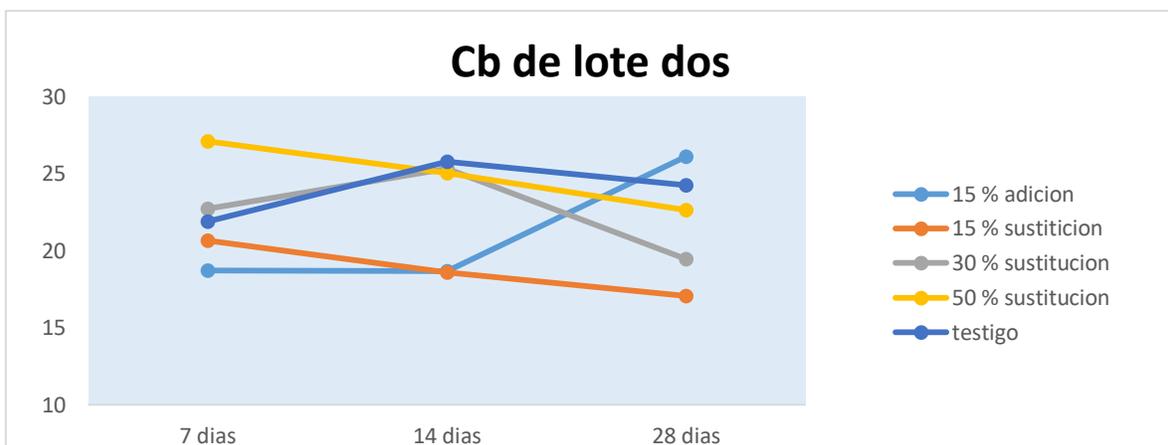
Tabla 19 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 2 de prueba.

Muestra	7 días de fabricación					14 días de fabricación					28 días de fabricación				
	testigo	+10 % ceniza, -5 % cemento	Aditivo auto curable	aditivo 2%, -10 % de ceniza + 5% de agua	aditivo 2%,-10 % de ceniza	testigo	+10 % ceniza, -5 % cemento	Aditivo auto curable	aditivo 2%, -10 % de ceniza + 5% de agua	aditivo 2%,-10 % de ceniza	testigo	+10 % ceniza, -5 % cemento	Aditivo auto curable	aditivo 2%, -10 % de ceniza + 5% de agua	aditivo 2%,-10 % de ceniza
Alto (cm)	20	20	20	20	20	19.8	21	20	20	19.8	20	20.1	20	20	20.2
Ancho (cm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Largo (cm)	40	40	39.9	39.9	40	40	39.9	39.9	40	40	39.9	39.9	39.9	40	40
M masa absorbida por el block (g)	520	520	470	220	450	410	480	490	250	410	540	500	490	190	440
M1 masa del block húmedo (g)	11340	11530	11350	11640	11300	11270	11680	11290	11790	11460	11430	11360	11290	11340	11280
Ms masa seca del block (g)	10820	11010	10880	11420	10850	10860	11200	10800	11540	11050	10890	10860	10800	11150	10840
S superficie de cara sumergida cm ²	800	800	798	798	800	792	837.9	798	800	792	798	801.99	798	800	808
t tiempo de inmersión (10 min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
cb coeficiente de absorción inicial g/(cm ² x min ⁻⁵)	20.55	20.55	18.62	8.72	17.79	16.37	18.12	19.42	9.88	16.37	21.40	19.72	19.42	7.51	17.22
resistencia a la compresión (kg/cm ²)	63.91	64.31	70.66	67.43	69.96	75.14	78.72	86.35	97.38	76.65	96.08	83.32	81.63	97.51	92.83

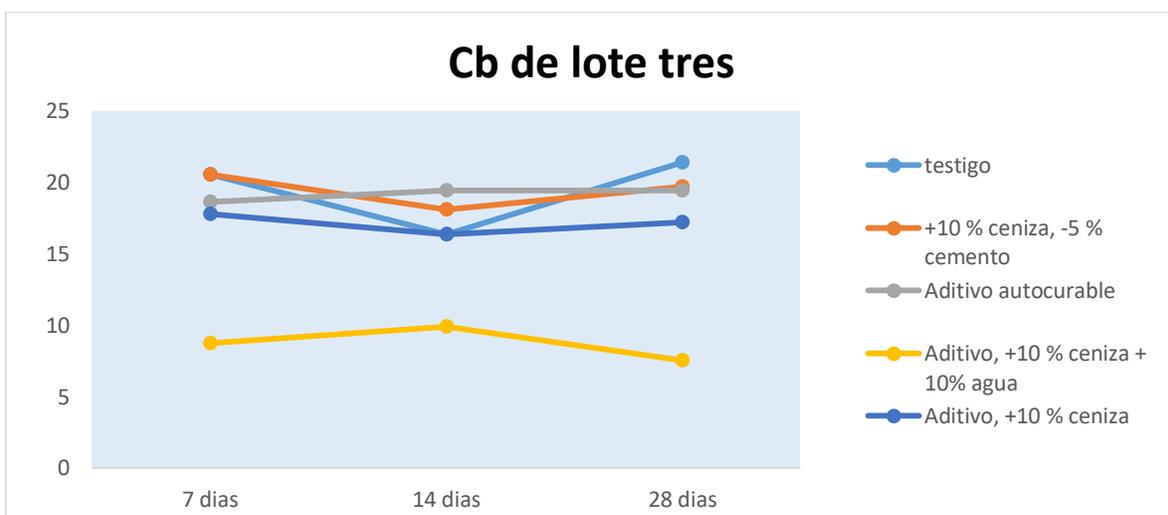
Tabla 20 Resultados de resistencia la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 3 de prueba.



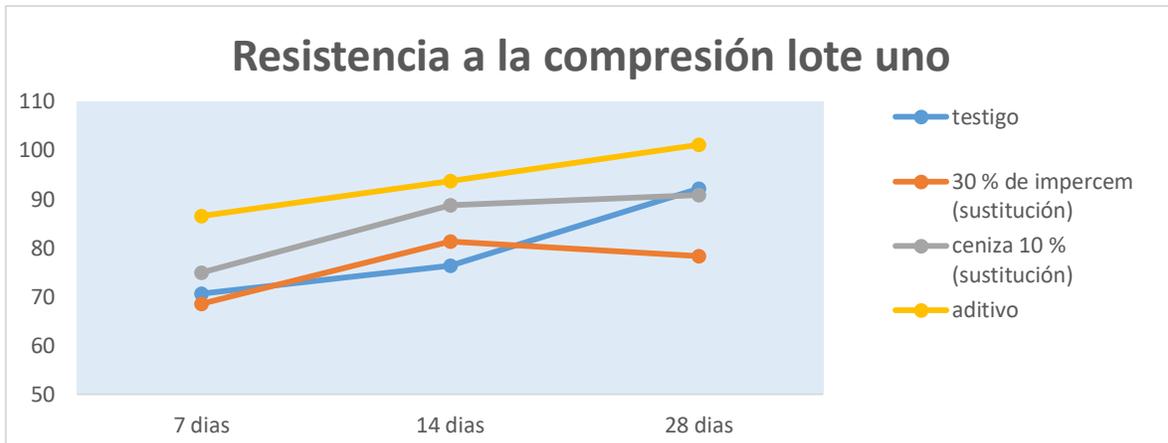
Grafica 3 Coeficiente de absorción del lote uno.



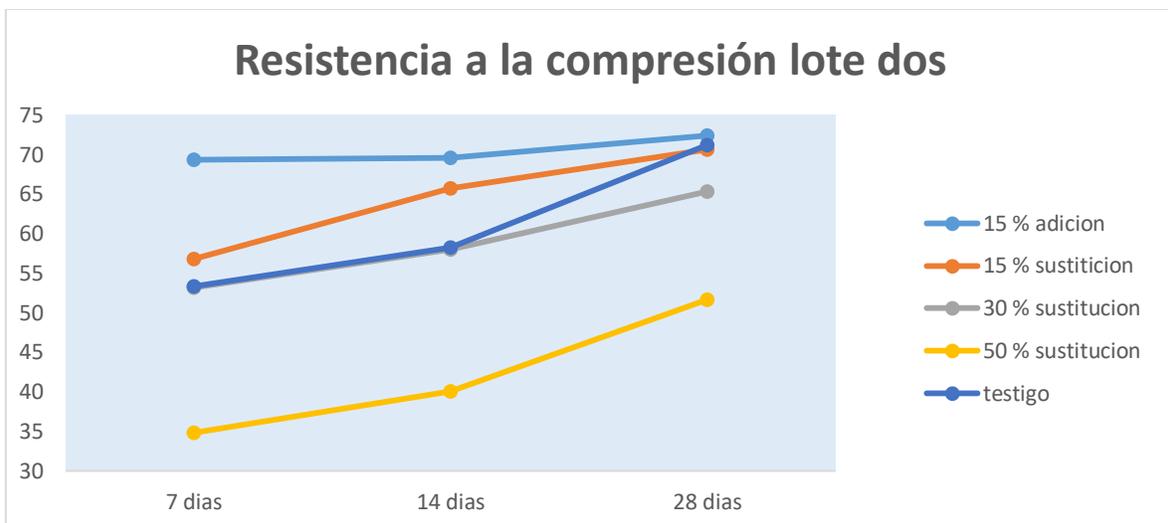
Grafica 4 Coeficiente de absorción del lote dos.



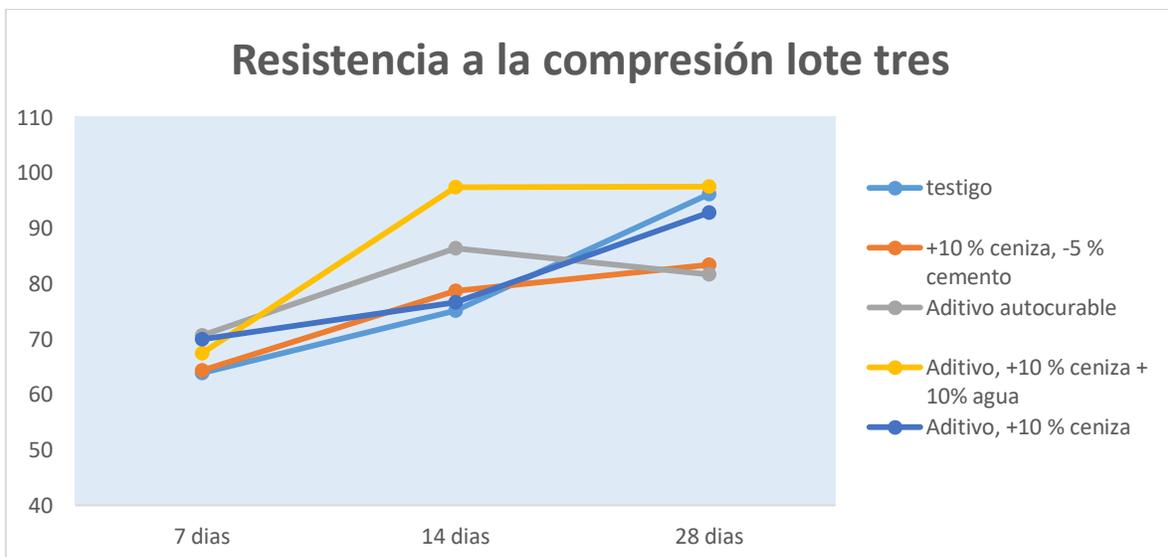
Grafica 5 Coeficiente de absorción del lote tres.



Grafica 6 Resistencia a la compresión del lote uno.



Grafica 7 Resistencia a la compresión del lote dos.



Grafica 8 Resistencia a la compresión del lote tres.

Los datos obtenidos de densidad, resistencia a la compresión y absorción inicial de los blocks de concreto vibro-compactado se llevaron a cabo respetando la normativa aplicable por ONNCCE.

El primer lote fue diseñado en base a la hipótesis planteada y a la bibliografía del presente trabajo, los subsecuentes lotes 2, es planeado en base a los resultados obtenidos del lote uno, y subsecuentemente el lote 3.

En la tabla 18 se muestran los resultados de resistencia a la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 1 de prueba. En este fueron puestos a prueba un block testigo, uno con un 30% de impercem (sustitución de cemento), uno con un 10 % ceniza (sustitución de cemento) y otro con un aditivo comercial. Obteniendo resultados favorables tanto en resistencia como en coeficiente de absorción inicial para el block con el 10% de ceniza volante como sustituto del cemento portland. En las gráficas 3 y 6 se muestra una comparativa tanto del coeficiente de absorción como de la resistencia a la compresión respectivamente en las cuales se puede apreciar lo dicho anteriormente.

El lote número dos se evalúa solo la ceniza volante en distintos porcentajes de sustitución y de adición, en la tabla 19 se muestran los resultados de resistencia a la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 2. En los que se ponen a prueba blocks con el 15 % adición, el 15 % sustitución, el 30 % sustitución, el 50 % sustitución todos los porcentajes respecto del cemento portland y por último el block testigo, En las gráficas 4 y 7 se muestra una comparativa tanto del coeficiente de absorción como de la resistencia a la compresión respectivamente, a pesar que los resultados de la resistencia a la compresión no son favorables, podemos observar que respecto a al coeficiente de absorción los mejores resultados se dan en la sustitución, un dato muy relevante, puesto que sea en sustitución de cemento portland implica una disminución en los costos de fabricación a diferencia en una adición pues esto implicaría un costo extra.

Debido a que no han obtenido el valor mínimo para cumplir la norma de absorción inicial se proponen nuevas condiciones con el aditivo comercial y la ceniza volante con la intención de alcanzar dichos valores. Permisibles por la norma. En la tabla 20 se muestran los resultados de resistencia a la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación del lote 3. De igual manera. En las gráficas 5 y 8 se muestra una comparativa tanto del coeficiente de absorción como de la resistencia a la compresión respectivamente en las cuales es claro que la combinación de un aditivo y de la ceniza volante dan los mejores resultados en ambas gráficas.

CONCLUSIONES

El uso de ceniza volante en un 10 % de sustitución disminuye el coeficiente de absorción, de un 12.8 a un 9.6 por lo que se concluye que el estudio de esta ceniza en distintos porcentajes de sustitución es viable.

La ceniza volante puede sustituir al cemento portland ordinal cedula 40 en al menos un 10%. Y con ello la resistencia la compresión se mantiene en los parámetros de la norma.

Se asume que el tamaño de partícula micrométrico de la ceniza volante contribuye a sellar los poros de los materiales pétreos, generando así una menor absorción por capilaridad.

Podemos decir que la ceniza volante usada como sustitución del cemento portland arroja mejores resultados respecto a la absorción inicial que si es empleada como aditivo.

Bibliografía

- [1] I. N. d. E. y. G. (INEGI), «www.inegi.org.mx,» 26 06 2018. [En línea]. Available: http://www.beta.inegi.org.mx/inegi/quienes_somos.html.
- [2] ONNCCE, «<http://www.onncce.org.mx>,» 19 Junio 2018. [En línea]. Available: <http://www.onncce.org.mx/index.php/es/onncce>.
- [3] E. A. Yasar, K. Cengiz Duran y H. Alaettin Gulsen, «Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash,» *Materials Letters*, vol. 57, nº 15, pp. 2267-2270, 2013.
- [4] K. M. A. Hossain, «High strength blended cement concrete incorporating volcanic ash: Performance at high temperatures,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 28, nº 6, pp. 535-545, 2006.
- [5] L. J. Chen Bing, «Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability,» *Construction and Building Materials*, vol. 22, nº 6, pp. 1108-1113, 2008.
- [6] C. P. González Cuervo, Á. Montaña Angarita y D. C. Castro Rodríguez, «Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto,» *El Hombre y la Máquina*, vol. 38, 2012.
- [7] J. M. García Giraldo, R. L. B. Díaz y C. L. Araya, «Modelo analítico del comportamiento a compresión de bloques huecos de concreto.,» *Revista de la Construcción* , vol. 12, nº 3, pp. 76-82, 2013.
- [8] J. F. Badillo, J. H. Ávila, E. S. Rodríguez, M. P. Labra, I. R. Landerolster y M. G. E. Cerecedo, «Preparation of Blocks from Tailings,» *Engineering Solutions for Sustainability*, pp. 127-134, 2015.
- [9] National Geographic, «National Geographic,» 29 08 2011. [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/buscando-un-futuro-mas-seguro-para-la-ceniza-desechada-de-las-centrales-electricas-de>. [Último acceso: 21 08 2018].
- [10] vanguardia.com.mx, «vanguardia.com.mx,» 14 12 2016. [En línea]. Available: <https://vanguardia.com.mx/articulo/las-bloqueras-de-mexico-un-ejemplo-para-el-mundo>. [Último acceso: 04 11 2018].

- [11] E. P. D. Javier Arrieta Freyre, «FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO,» Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, peru, 2001.
- [12] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la Construcción – Agregados – Muestreo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2004.
- [13] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-073-ONNCCE-2004 Industria de la Construcción – Agregados – Masa Volumétrica – Método de Prueba*, Ciudad de México: ONNCCE, 2004.
- [14] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-077-1997-ONNCCE Industria de la Construcción – Agregados para Concreto – Análisis Granulométrico – Método de Prueba*, Ciudad de México: ONNCCE, 1997.
- [15] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-084-ONNCCE-2006 Industria de la Construcción – Agregados para Concreto - Partículas mas Finas que la Criba 0,075 mm (No. 200) por Medio de Lavado – Método de Prueba*, Ciudad de México: ONNCCE, 2006.
- [16] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-088-1997-ONNCCE Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino*, Ciudad de México: ONNCCE, 1997.
- [17] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-164-ONNCCE-2014 Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso*, Ciudad de México: ONNCCE, 2014.
- [18] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-165-ONNCCE-2014 Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino - Método de ensayo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2014.
- [19] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-166-ONNCCE-2006 Industria de la construcción - Agregados – Contenido de agua por secado - Método de prueba*, Ciudad de México: ONNCCE, 2006.

- [20] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-170-1997-ONNCCE Industria de la Construcción – Agregados – Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requerido para las Pruebas*, Ciudad de México: ONNCCE, 1997.
- [21] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-037-ONNCCE-2013 Industria de la construcción - Mampostería - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2013.
- [22] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-036-ONNCCE-2013 Industria de la Construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de Ensayo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2013.
- [23] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-038-ONNCCE-2013 Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2013.
- [24] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., *NMX-C-404-ONNCCE-2012 Industria de la construcción - Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo*, Ciudad de México: ONNCCE, 2012.
- [25] F. Lopez Gayarre, P. Serna Ros, A. Domingo Cabo, M. Serrano Lopez y C. Colina Perez, «Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties,» *Waste management*, vol. 29, n° 12, pp. 3022-3028, 2009.
- [26] B. G. a. K. A. G. Kutchno, «Fly ash characterization by SEM-EDS,» *Fuel*, vol. 85, n° 17-18, pp. 2537-2544, 2006.
- [27] A. Stoch, «Fly ash from coal combustion-characterization,» *Praca doktorska*, 2015.
- [28] G. G.-G. J. L. A.-D. L. Y. Gómez-Zamorano, «Study on the hydration of Portland cement paste replaced with blast furnace slag, fly ash, and metakaolin: effect on the usage of two superplasticizer additives,» *Revista ALCONPAT*, vol. 5, n° 3, pp. 193-208, 2015.