

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

“ESTUDIO DE LA SUSTICIÓN PARCIAL DE CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL POR CENIZA VOLCÁNICA DE TAMAÑO MENOR AL TAMIZ #200 EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN.”

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRIOLLO MONTAÑO ÁLVARO PATRICIO

alvaro.criollo@epn.edu.ec

FRAGA ZAPATA JUAN SEBASTIÁN

juansefraga@gmail.com

DIRECTOR: ING. VILLACÍS TRONCOSO EUGENIA DE LAS MERCEDES, MSc.

mercedes.villacis@epn.edu.ec

Quito, febrero 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Criollo Montaña Álvaro Patricio y Fraga Zapata Juan Sebastián**, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Álvaro Patricio Criollo Montaña

Juan Sebastián Fraga Zapata

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Álvaro Patricio Criollo Montaña y Juan Sebastián Fraga Zapata, bajo mi supervisión.

Ing. Mercedes Villacís Troncoso, MSc.

DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido cumplir la meta de graduarme en la Escuela Politécnica Nacional, a mis padres por ser el apoyo incondicional durante toda mi etapa de formación, a mis hermanas por ser el ejemplo de superación en cada uno de mis días, a mis abuelitos por siempre estar pendiente de mis necesidades, a mi directora de proyecto Ing. Mercedes Villacis por el conocimiento y ayuda brindado en el desarrollo del trabajo de titulación, a las personas que conforman el LEMSUR por toda la ayuda brindada, finalmente agradezco a mi amigo Ricki y a mi amigo y compañero de tesis Sebas por su apoyo durante toda la carrera .

Álvaro Criollo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y a sus educadores por brindarme los conocimientos y formación personal a lo largo de la carrera, sobre todo a la ingeniera Mercedes Villacis quien fue guía e hizo posible este trabajo. Al personal de LEMSUR, por su invaluable gestión en el uso del laboratorio a pesar de las condiciones de la emergencia sanitaria.

Agradezco a cada uno de mis amigos, quienes son parte de las anécdotas de alegría y tristeza a lo largo de la carrera. A Álvaro por ser una persona extraordinaria, siendo uno de mis mejores amigos y haber realizado este trabajo conmigo.

A mi familia, por cada uno de los consejos y sabiduría impartida, y sobre todo a mi Madre Silvia a quien le debo todo lo que soy, quien es el pilar fundamental de este logro y me motiva a diario a seguir adelante.

Sebastián Fraga

LISTA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
LISTA DE CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPÍTULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. ALCANCE	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO 2.....	5
2.1. GENERALIDADES BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN	5
2.2. CLASIFICACIÓN	6
2.3. MATERIALES QUE CONFORMAN EL HORMIGÓN	7
2.3.1. CENIZA VOLCÁNICA.....	7
2.3.1.1. ORIGEN Y PROCEDENCIA DE LA CENIZA VOLCÁNICA	8
2.3.1.2. COMPOSICIÓN.....	8
2.3.1.3. USO EN LA CONSTRUCCIÓN	8
2.3.2. AGREGADOS PÉTREOS LIVIANOS	9
2.3.2.1. CHASQUI	9
2.3.2.2. POLVO.....	10

2.3.3.	CEMENTO.....	11
2.3.4.	AGUA.....	13
2.4.	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA BLOQUES	14
2.4.1.	FABRICACIÓN ARTESANAL	14
2.4.1.1.	DOSIFICACIÓN DEL BLOQUE ARTESANAL	14
2.4.1.2.	PROCESO DE MEZCLADO.....	15
2.4.1.3.	PROCESO DE MOLDEO.....	16
2.4.1.4.	CURADO DE BLOQUES	16
2.5.	NORMA NTE INEN 306	17
2.5.1.	REQUISITOS	17
2.5.1.1.	DIMENSIONES Y ASPECTOS VISUALES.....	17
2.5.1.2.	ABSORCIÓN	19
2.5.1.3.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	20
	CAPÍTULO 3.....	21
3.1.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS QUE CONFORMAN EL BLOQUE DE HORMIGÓN	21
3.1.1.	ENSAYOS DEL AGREGADO FINO	21
3.1.1.1.	PESO ESPECÍFICO DE LA FRACCIÓN FINA.....	21
3.1.1.2.	DENSIDAD APARENTE DE LA FRACCIÓN FINA.....	25
3.1.1.3.	GRANULOMETRÍA DE LA FRACCIÓN FINA	27
3.1.1.4.	CONTENIDO ORGÁNICO.....	29
3.1.2.	ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO	30
3.1.2.1.	PESO ESPECÍFICO EN LA FRACCIÓN GRUESA.....	30
3.2.2.2.	DENSIDAD APARENTE EN LA FRACCIÓN GRUESA.....	33
3.2.2.3.	GRANULOMETRÍA	34
3.1.3.	ENSAYO DE DENSIDAD DE CENIZA VOLCÁNICA.....	36
3.1.4.	RESUMEN DE PROPIEDADES OBTENIDAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	37
3.2.	OBTENCIÓN DE LA FRACCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA QUE PASA EL TAMIZ #200.....	40
3.3.	PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN EVALUADAS CON LA ACTUAL NORMATIVA INEN 3066.....	41

3.3.1.	DIMENSIONES	41
3.3.2.	ABSORCIÓN, DENSIDAD Y OTROS.....	42
3.3.2.1.	ABSORCIÓN DEL BLOQUE	43
3.3.2.2.	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL BLOQUE	44
3.3.2.3.	DENSIDAD DEL BLOQUE.....	44
3.3.2.4.	ÁREA NETA PROMEDIO.....	44
3.3.3.	OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	46
3.4.	DISEÑO DE BLOQUE PATRÓN	48
3.4.1.	METODOLOGÍA ACI 211.2.....	48
3.4.1.1.	MÉTODO 2. MÉTODO VOLUMÉTRICO.....	48
3.4.2.	DOSIFICACIÓN BLOQUERA	50
3.4.3.	DETERMINACIÓN DE BLOQUE PATRÓN	51
3.4.3.1.	BLOQUES CLASE B	52
3.4.3.2.	BLOQUES CLASE A	54
3.4.3.3.	BLOQUE PATRÓN	56
3.5.	BLOQUE CON PROPORCIONES DE CENIZA	58
	CAPÍTULO 4.....	61
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	61
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES	61
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD EN BLOQUES	63
4.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE ABSORCIÓN EN BLOQUES	64
	CAPÍTULO 5.....	66
5.1.	CONCLUSIONES	66
5.2.	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS	70
	ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Tipo de Máquina patentada por Harmon S. Palmer en 1900.....	5
<i>Figura 2:</i> Estrato de ceniza volcánica.....	7
<i>Figura 3:</i> Agregado liviano chasqui	10
<i>Figura 4:</i> Polvo Azul	11
<i>Figura 5:</i> Cemento Hidráulico.....	13
<i>Figura 6:</i> Mezcla de Materiales.....	15
<i>Figura 7:</i> Desmolde de Bloques	16
<i>Figura 8:</i> Muestra lavada de Polvo Azul siguiendo norma (NTE INEN 697).....	22
<i>Figura 9:</i> Ensayo para la determinación de la condición SSS del polvo azul y chasqui...	23
<i>Figura 10:</i> Ensayo para determinación de la gravedad específica mediante picnómetro..	24
<i>Figura 11:</i> Ensayo de densidad aparente compactada de polvo azul y chasqui fino.....	26
<i>Figura 12:</i> Ensayo de densidad aparente suelta del polvo azul y chasqui fino	27
<i>Figura 13:</i> Contenido Orgánico en Chasqui y Polvo Azul.....	30
<i>Figura 14:</i> Procedimiento de ensayo de gravedad específico en áridos gruesos.....	32
<i>Figura 15:</i> Ensayo de Densidad Compactada.....	34
<i>Figura 16:</i> Curva Granulométrica Polvo Azul	38
<i>Figura 17:</i> Curva Granulométrica Chasqui Fino	38
<i>Figura 18:</i> Curva Granulométrica Chasqui Grueso.....	39
<i>Figura 19:</i> Curva Granulométrica Chasqui Combinado.....	39
<i>Figura 20:</i> Extracción de ceniza volcánica del Cotopaxi en barrio San Felipe – Latacunga.....	40
<i>Figura 21:</i> Trituración y tamizado de ceniza volcánica	40
<i>Figura 22:</i> Partes que conforman el bloque.....	41
<i>Figura 23:</i> Área normalizada de tabiques.....	42
<i>Figura 24:</i> Medición del peso del bloque sumergido	42
<i>Figura 25:</i> Medición de bloques para cálculo de área neta	45
<i>Figura 26:</i> Extensiones no compatibles sobre el tabique	46
<i>Figura 27:</i> Refrentado de bloque para correcta distribución de carga.....	46
<i>Figura 28:</i> Ensayo a compresión de bloque	47

Figura 29: Relación de cantidad de cemento de la mezcla y su resistencia a compresión	49
Figura 30: Relación entre el contenido de cemento de la mezcla y la resistencia a compresión para mezcla de agregados liviano y normal	51
Figura 31: Variación de la resistencia por influencia de polvo azul en la mezcla	53
Figura 32: Variación de la resistencia por influencia del chasqui en la mezcla.....	54
Figura 33: Curva de relación entre la resistencia a compresión y el contenido de cemento	56
Figura 34: Reemplazo de ceniza volcánica	58
Figura 35: Relación entre el porcentaje de ceniza reemplazado y la resistencia a compresión	62
Figura 36: Curva del porcentaje de disminución de resistencia a compresión al reemplazar los diferentes porcentajes de ceniza en el cemento.....	62
Figura 37: Variación de la densidad al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza.....	63
Figura 38: Gráfica del porcentaje de disminución de densidad al reemplazar los diferentes porcentajes de ceniza en el cemento	64
Figura 39: Variación de la absorción al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza ...	65
Figura 40: Porcentaje de absorción al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Bloques de hormigón según el uso</i>	6
Tabla 2 <i>Bloques de hormigón según la densidad</i>	6
Tabla 3 <i>Dosificación del Bloque de Alivianamiento Artesanal</i>	14
Tabla 4 <i>Dosificación del Bloque de Mampostería no Estructural Artesanal</i>	15
Tabla 5 <i>Dimensiones requeridas de espesores de paredes y tabiques en bloques clase A</i>	18
Tabla 6 <i>Dimensiones de los bloques de hormigón recomendados en la norma</i> ...	19
Tabla 7 <i>Requisitos de absorción y densidad en Bloques Clase A</i>	19
Tabla 8 <i>Resistencia a compresión simple en bloques de hormigón</i>	20
Tabla 9 <i>Capacidad del molde de acuerdo al tamaño del agregado</i>	25
Tabla 10 <i>Cantidad mínima de muestra para granulometría en agregado fino ligero</i>	28
Tabla 11 <i>Requerimientos de gradación para áridos finos</i>	28
Tabla 12 <i>Comparador de color Escala Gardner</i>	29
Tabla 13 <i>Cantidad de agregado grueso mínimo a ensayar</i>	31
Tabla 14 <i>Gradación para agregados de peso ligero</i>	35
Tabla 15 <i>Resumen de la caracterización de agregados</i>	37
Tabla 16 <i>Densidad Aparente Suelta Máxima para agregados livianos en bloques de hormigón</i>	37
Tabla 17 <i>Densidad Ceniza Volcánica del Cotopaxi</i>	39
Tabla 18 <i>Resistencia Bloque Artesanal clase B a los 28 días</i>	50
Tabla 19 <i>Resultados de propiedades físicas de bloques artesanales clase B</i>	50
Tabla 20 <i>Contenido de cemento para resistencia a compresión requerida en bloques clase A y B</i>	52
Tabla 21: <i>Resistencias a compresión a los 14 días del bloque con distintas proporciones de agregados</i>	52
Tabla 22 <i>Resistencia a la compresión a los 14 días para bloque estructural</i>	55
Tabla 23 <i>Contenido de cemento y resistencia obtenida para cada bloque</i>	55
Tabla 24 <i>Dosificación para el bloque patrón</i>	57
Tabla 25 <i>Resistencia a compresión del bloque patrón ensayado a los 28 días</i>	57
Tabla 26 <i>Propiedades físicas y mecánicas del bloque patrón</i>	57

Tabla 27 <i>Resistencia a compresión con los distintos porcentajes de ceniza a los 28 días.....</i>	59
Tabla 28 <i>Resumen de resultados obtenidos para los distintos porcentajes de ceniza volcánica.....</i>	60
Tabla 29 <i>Comparación de resistencia promedio entre el bloque patrón y los diferentes porcentajes de ceniza.....</i>	61
Tabla 30 <i>Variación de densidad para cada porcentaje de ceniza reemplazado ...</i>	63
Tabla 31 <i>Valores de absorción para cada porcentaje de ceniza reemplazada</i>	64

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. FICHA TÉCNICA CHIMBORAZO/CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL.....;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES. ;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 3. TABLA DE DOSIFICACIONES UTILIZADAS PARA BLOQUES DE PRUEBA.....;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 4. TABLA DE DOSIFICACIONES UTILIZADAS PARA BLOQUES CLASE A.....;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 5. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA PARA CADA BLOQUE .;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 6. TABLA DE DIMENSIONES Y CARGA PARA BLOQUE PATRÓN Y BLOQUES CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE CENIZA;Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 7. TABLA DE DATOS PARA ENSAYO DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL BLOQUE PATRÓN Y BLOQUES CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE CENIZA;Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar una dosificación de bloques huecos de hormigón, que al reemplazar el cemento en diferentes porcentajes con la fracción de ceniza volcánica que pasa por el tamiz Nro.200, cumplan con los requerimientos establecidos en la normativa INEN 3066.

Se elaboró distintas dosificaciones de prueba siguiendo las recomendaciones del método II del ACI 211.2, realizando pruebas con diferentes relaciones de agregados que conforman el bloque, para elaborar una variación en la cantidad de cemento, analizando cómo influye en su resistencia, y de esta manera obtener un bloque patrón con una resistencia promedio a compresión mayor a 4MPa.

Una vez obtenido el bloque patrón, el cual obtuvo una resistencia promedio de 5,74 MPa, se procedió a realizar las distintas pruebas con los diferentes porcentajes de ceniza (5%, 10%, 20% y 30%), obteniéndose una disminución en la resistencia a la compresión con valores de 4,86 MPa, 3,84 MPa, 2,90 MPa y 2,31 MPa con respecto al bloque patrón. Con esto se evidenció que únicamente los bloques con el reemplazo del 5% de ceniza, a pesar de tener una disminución en la resistencia del 15% respecto al bloque patrón, cumplen con la resistencia promedio de 4 MPa establecida en la norma NTE INEN 3066, por lo que resulta factible la elaboración de bloques clase B para paredes no estructurales.

ABSTRACT

The present study aims to determine a dosage for hollow concrete blocks, in which the cement is replaced by different percentages of Cotopaxi volcanic ash that passes the #200 sieve, in a such a way that the block properties comply the requirements established in INEN 3066 regulation.

Different dosages were elaborated following the recommendation defined in the second method of ACI 211.2. First of all, aggregates ratio was evaluated in different mixtures in order to vary afterward the content cement, and in this way analyze the influence in the block strength. Thus, a higher compressive strength than 4 Mpa was obtained for the pattern block.

Once the pattern block reached 5,74 MPa in the average compressive strength, the different tests were carried out with the percentages of volcanic ash (5%, 10%, 20% and 30%). The blocks tested with the different percentages decreased their strength to 4,86 MPa, 3,84 MPa, 2,90 MPa and 2,31 MPa respectively in comparison with the pattern block. Therefore, the samples with the 5% of volcanic ash, despite decreasing their strength by 15% compared to the pattern block, they meet the requirement of 4 MPa compressive strength as indicate the INEN regulation. For this reason, it's possible to elaborate hollow concrete blocks B-class for non-structural walls.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación está compuesto de cinco capítulos, desarrollados de la siguiente forma:

El Capítulo 1 abarca las generalidades de la investigación, haciendo una introducción general de la ceniza volcánica, como material de construcción y planteando el problema en la inexistencia de normas para la fabricación de bloques con este material. De esta manera se plantea los objetivos y el alcance del estudio, con la justificación teórica, metodológica y práctica para la realización de la investigación.

El Capítulo 2 se fundamenta en fuentes bibliográficas, partiendo con generalidades referentes a los bloques de hormigón, como su clasificación y requerimientos de acuerdo a la normativa vigente. Se detallan los materiales a emplear en la fabricación del bloque y como se fabrican los mismos de forma artesanal. Adicionalmente se presenta a la ceniza volcánica en sus distintos usos en la construcción, su procedencia y como ha sido utilizado este material en investigaciones pasadas.

El Capítulo 3 detalla la metodología para la realización de ensayos de la fase experimental basándose en normativa nacional e internacional. Se definen los ensayos tanto para las características físicas de los agregados que conforman el bloque hueco de hormigón, así como para las propiedades físicas y mecánicas de los bloques para ser evaluadas con la normativa NTE INEN 3066.

Además, se establece la metodología usada según el ACI 211.2 para generar un bloque patrón, en el cual se reemplaza los distintos porcentajes de la fracción de ceniza volcánica en el cemento, para así obtener los resultados de los diferentes ensayos.

El Capítulo 4 tiene como objetivo analizar mediante tablas y gráficas, los resultados del bloque patrón con los resultados con los diferentes porcentajes de ceniza volcánica reemplazada en el cemento.

El Capítulo 5 presenta las conclusiones logradas en el presente proyecto de investigación, así como las respectivas recomendaciones.

Por último, se adjunta todas las referencias utilizadas, al igual que los anexos que son soporte de la ejecución de la investigación.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La ceniza volcánica es uno de los materiales más antiguos de construcción después de la piedra caliza y la cal. Los romanos y griegos combinaron la ceniza volcánica con cal con la finalidad de conseguir mezclas que perduren por mucho tiempo y poder construir grandes obras de ingeniería existentes hasta la actualidad. Este concepto permanece hasta el día de hoy con el uso del cemento portland puzolánico, el cual está diseñado para una prolongada vida útil. De esta manera se puede tener una idea de los beneficios que este material natural puede tener en el hormigón (Allauca, Amen, & Lung, 2010).

Ecuador al estar localizado en una zona volcánica, presenta diferentes depósitos de puzolana provenientes de erupciones volcánicas. El Cotopaxi es uno de los volcanes más activos del Ecuador, que se caracteriza por sus altas emisiones de ceniza en toda su historia eruptiva. Las mayores lluvias de ceniza se producen principalmente en la zona occidental del volcán por acción de los vientos del este, generándose así depósitos de ceniza en las zonas bajas, esto permite la recolección de este material para las diferentes investigaciones (Andrade, y otros, 2005).

En el país, dado a la inexistencia de una norma para la dosificación de bloques, se elaboran de forma artesanal, dando como resultado el incumplimiento de los requisitos de la normativa vigente. Por lo cual, se realizará un bloque base siguiendo recomendaciones de investigaciones realizadas anteriormente y normativas internacionales.

La presente investigación tiene como fin analizar el comportamiento de los bloques huecos de hormigón partiendo del bloque base, en el cual se irá reemplazando el cemento en diferentes porcentajes (5%, 10%, 20%, 30%) con la fracción de ceniza volcánica de tamaño menor al tamiz #200, con el fin de cumplir con la normativa INEN 3066.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la dosificación de bloques huecos de hormigón, al reemplazar el cemento en diferentes porcentajes (5, 10, 20, 30) con la fracción fina de ceniza volcánica que pasa el tamiz 200, basándose en la metodología del ACI 211.2, cumpliendo con los requerimientos de la norma NTE INEN 3066.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas de los agregados que se utilizarán en la dosificación de bloques artesanales, mediante los respectivos ensayos de laboratorio que indica la normativa INEN.
- Establecer la dosificación base de un bloque de hormigón, mediante la metodología del ACI 211.2, evaluando el porcentaje de la fracción de ceniza que pasa el tamiz #200, que será reemplazada por el cemento.
- Comparar las propiedades mecánicas de las probetas que contienen diferentes proporciones de la fracción de ceniza que pasa el tamiz #200, con probetas de dosificación normal (sin ceniza volcánica).
- Validar la influencia de la ceniza volcánica en el cumplimiento de los ensayos que indica la norma vigente NTE INEN 3066 para el uso en mampostería estructural y no estructural.

1.3. ALCANCE

Este estudio comprende la elaboración de bloques huecos de hormigón con ceniza volcánica. La dosificación de los mismos se realiza a partir del método II establecido en el ACI 211.2, mediante la elaboración de bloques de prueba con agregado liviano (chasqui), polvo azul y reemplazando el cemento en diferentes porcentajes con la fracción de ceniza volcánica de tamaño menor al tamiz #200, alcanzando las

propiedades físicas y mecánicas necesarias para el cumplimiento de la actual normativa INEN 3066.

Los resultados obtenidos son válidos exclusivamente en la elaboración de bloques huecos livianos de hormigón para mampostería no estructural, al reemplazar el cemento por la fracción de ceniza volcánica de tamaño menor al tamiz #200 proveniente del volcán Cotopaxi.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La dosificación del hormigón debe seguir parámetros ya establecidos en las normativas vigentes. En el caso de la normativa del ACI 211.2 para dosificaciones de hormigón, toma en cuenta las propiedades físicas, y mecánicas de los diferentes agregados y del cemento que se está utilizando, pero no existen parámetros de diseño con el uso de ceniza volcánica. Determinar la proporción de fracción que pasa el tamiz #200 de ceniza volcánica que va a ser reemplazada por el cemento, para que no afecte en la resistencia final del bloque, la cual permita obtener mezclas que cumplan con la norma INEN 3066, y a su vez complementar el conocimiento ya existente sobre la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Los criterios de dosificación del ACI no toman en cuenta el reemplazo de una fracción de cemento convencional por el de ceniza volcánica, por lo que no existe metodología para la dosificación con éste material no convencional, siendo una dosificación especial en la cual se desarrollarán diferentes pruebas tomando en cuenta las propiedades del material y así poder observar la influencia que tiene el reemplazo del cemento en distintos porcentajes (5%, 10%, 20% y 30%), por la fracción de ceniza volcánica que pasa el tamiz #200 en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Los bloques artesanales son materiales ampliamente utilizados en la construcción, por lo que conocer la influencia de la ceniza volcánica con los agregados resulta una gran ventaja para poder diseñar dosificaciones eficientes, las cuales cumplan con la Norma INEN 3066. Además, la ceniza volcánica al ser un material natural no

necesita de un proceso complejo para su producción, por lo que le hace un material más económico.

Finalmente, las ventajas también se presentan para las poblaciones cercanas a los depósitos de la ceniza volcánica, ya que ellos pueden ser quienes se encarguen de la obtención de ese material, generando de esa manera desarrollo económico y social.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

La historia del hormigón en la construcción se remonta en Roma y la antigua Grecia en el primer siglo A. C., un famoso ejemplo es el Pantheon de Roma, que a pesar de la longevidad de su estructura, cuenta con la cúpula de hormigón sin refuerzo más grande del mundo. Con el pasar de los años se ha ido experimentando con elementos de hormigón, siendo los bloques de concreto una tendencia en el siglo XIX, sin embargo, no fue industrializado hasta 1900, cuando Harmon S. Palmer patentó su máquina para realizar bloques de hormigón, pese a que 30 años antes, se habían realizado diferentes métodos para su fabricación, los cuales fueron producidos únicamente para pocos edificios, pero no fueron generados en masa. En 1915, H.A. Donald introdujo el bloque de hormigón con superficie rocosa, realizando varias construcciones en la ciudad de Lexington, Virginia, continuando este tipo de construcción hasta la actualidad (Simpson, 1989, págs. 108-110).

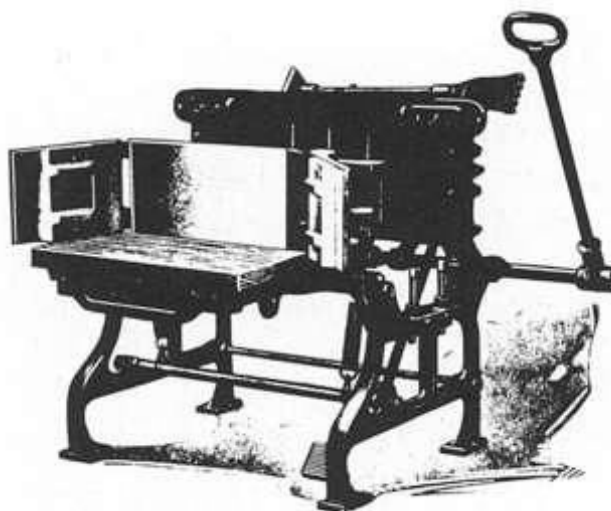


Figura 1: Tipo de Máquina patentada por Harmon S. Palmer en 1900

Fuente: (Bell, 1969)

Los bloques de hormigón son elementos rectangulares con o sin huecos en su interior, elaborados con cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos. Para

que un bloque sea considerado hueco, el área neta donde será aplicada la carga debe ser menor al 75%, mientras que un bloque sólido la superficie de carga tendrá que ser igual o mayor al 75% (NTE INEN 3066, 2016).

2.2. CLASIFICACIÓN

Los mampuestos de hormigón se clasifican de acuerdo al uso en: bloques de mampostería estructural utilizados para sistemas de paredes portantes (clase A), bloques no estructurales para paredes divisorias (clase B) y bloques de aliviamiento en losas (clase C). Además, se los puede clasificar respecto a la densidad como muestra la **Tabla 2** (NTE INEN 3066, 2016).

Tabla 1 *Bloques de hormigón según el uso*

Clase	Uso
A	Mampostería Estructural
B	Mampostería No Estructural
C	Aliviamiento en Losas

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Tabla 2 *Bloques de hormigón según la densidad*

Tipo	Densidad del hormigón (kg/m ³)
Liviano	< 1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	> 2000

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.3. MATERIALES QUE CONFORMAN EL HORMIGÓN

2.3.1. CENIZA VOLCÁNICA

La ceniza volcánica es un polvo fino de tamaño menor a 2 mm, resultante de actividades eruptivas luego de la expulsión ceniza a la atmósfera, y que por efecto del viento se depositan en diferentes lugares; varios de estos lugares se encuentran a gran distancia de la fuente de origen (Breitkreuz, de Silva, Wilke, Pfander, & Renno, 2014).

Proviene de fragmentos de rocas volcánicas, y está compuesto principalmente por material andesítica, basáltico o traquítico. Los minerales silíceos y aluminosos son los principales compuestos que suele contener la puzolana, que por sí mismos no poseen cualidades cementantes, pero que al reaccionar con dihidróxido de calcio en presencia del agua forman compuestos cementantes, los cuales por endurecimiento hidráulico son capaces de desarrollar resistencia (Díaz & Ramírez, 2009).



Figura 2: Estrato de ceniza volcánica

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.3.1.1. Origen Y Procedencia De La Ceniza Volcánica

Los volcanes en Ecuador están distribuidos en dos cordilleras, la cordillera oriental o real y la cordillera occidental, separadas por una cuenca llamada depresión interandina. Sobre la cordillera oriental a una distancia de 45 km al Sureste de la ciudad de Quito y a 35 km al Noreste de la ciudad de Latacunga, se localiza el volcán Cotopaxi con una altura de 5897 m.s.n.m, considerado uno de los volcanes activos más altos del mundo (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

Los depósitos de material volcánico del Cotopaxi consisten en dos secciones, llamadas Cotopaxi I (la más antigua) y Cotopaxi II (la más joven), ésta a su vez se divide en Cotopaxi IIA y Cotopaxi IIB (Hall & Mothes, 2008). Los depósitos del Cotopaxi I incluyen una serie de flujo piroclástico riolítico y caídas de ceniza que varían en edad de 420 a 560 mil años (Bigazzi, Coltelli, Hadler, & Osorio, 1997), y las de Cotopaxi II, contienen depósitos piroclásticos de andesita y riolita (Garrison, Davidson, Hall, & Mothes, 2011).

En investigaciones referentes al análisis mineralógico de la ceniza del volcán Cotopaxi, han encontrado altos porcentajes de feldespatos de plagioclasas entre (53% y 61%), recomendado el uso como material de agregado para elaboración de asfalto y hormigón (Sánchez, 2017).

2.3.1.2. Composición

La ceniza está compuesta principalmente de sílice, alúmina, alcalinos hidratados, similares a las arcillas, en forma cristalina o vítrea (Díaz & Ramírez, 2009).

2.3.1.3. Uso En La Construcción

El cemento puzolánico se elabora mediante una pulverización combinada de la mezcla de Clinker y puzolana, adicionando eventualmente sulfato de calcio (Díaz & Ramírez, 2009). Las puzolanas son materiales que no son cementosos por sí mismos, pero forman un cemento hidráulico cuando se mezclan con hidrato de cal por su composición aluminosilíceas. La reacción de la puzolana con la cal se libera

al mezclar con el cemento en el proceso de hidratación, modificando algunas propiedades de los cementos y del hormigón resultante (Mouli & Khelafi, 2006).

La (ASTM C595) recomienda que el contenido de puzolana en la fabricación del cemento sea de hasta el 40% en masa del cemento mezclado.

La ceniza volcánica reacciona más lento que el cemento Portland, ya que esta es activada por la acción del hidrato de cal que se produce en la hidratación del cemento (Malhotra & Metha, 1996). Por lo que mezclas de hormigón elaboradas con cemento puzolánico alcanzan resistencias finales mayores, cuando estas son ensayadas posterior a los 56 o 90 días (Roldán , Zetola, & Robles, 2013).

Si bien es cierto que el cemento con puzolana puede ser utilizado en la mayoría de obras, tiene un mejor comportamiento cuando su uso requiere de propiedades de durabilidad como el ataque de sulfatos, recomendando su uso en construcciones expuestas al agua de mar. También se puede usar en la producción de elementos prefabricados, como los mampuestos de hormigón debido a su baja densidad, obteniendo un elemento más ligero respecto a su peso medio (Díaz & Ramírez, 2009).

Guzmán y Galeas (2019) han utilizado varias fracciones de ceniza volcánica reemplazando en distintos porcentajes por la cantidad de cemento en probetas de hormigón, estableciendo que partículas de tamaño menor a 0,075 mm, presentan un mejor comportamiento en la resistencia a compresión, respecto a mezclas de hormigón con partículas de ceniza de mayor tamaño.

2.3.2. AGREGADOS PÉTREOS LIVIANOS

2.3.2.1. Chasqui

La piedra pómez o “chasqui” como usualmente se lo conoce, es un agregado liviano utilizado generalmente en la elaboración de bloques huecos de hormigón en Ecuador, su nombre se debe a que las minas de donde se obtiene el material se ubican en la provincia de Cotopaxi, en el sector del Chasqui. La piedra pómez es

un material poroso volcánico, el cual es formado por el proceso de expansión del vapor y gases disueltos en la lava volcánica (Cekova, Pavlovski, Spasey, & Reka, 2013), la despresurización de la lava crea burbujas por la disminución de la solubilidad de los gases, que están disueltos y al enfriarse simultáneamente se forman las burbujas en una matriz, generando la porosidad característica de la pómez.



Figura 3: Agregado liviano chasqui

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Las minas donde se encuentra este material son en forma de estratos. Los estratos superiores compuestos principalmente de polvo volcánico, arcillas y arenas, deben ser removidos hasta llegar al material más limpio. Mientras más limpio se encuentre el material, la calidad del agregado será mejor (Santacruz & Velastegui, 2018).

2.3.2.2. Polvo

Este material, el más fino de los agregados, utilizado en la dosificación de mampuestos de hormigón, es arena con una coloración azul y se obtiene principalmente de minas cercanas a la Mitad del Mundo en San Antonio de Pichincha. Su textura es ligera y delgada y su extracción es simple, basta con perfilar con una retroexcavadora la montaña para que el material caiga y pueda ser transportado.



Figura 4: Polvo Azul

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.3.3. CEMENTO

La ASTM C150 define al cemento portland como cemento hidráulico producto de la pulverización de clinker, el cual consiste principalmente de silicatos de calcio, además de una o más formas de sulfato de calcio. El clinker son gránulos de 0,5 a 2,5 centímetros de diámetro de material sinterizado, que se produce en el momento que una mezcla de determinada composición, se calienta a temperaturas elevadas (Mehta & Monteiro, 2005). Los cuatro componentes principales del cemento portland son C_3S , C_2S , C_3A y C_4AS .

De acuerdo a la ASTM C150 (2020), existen 10 tipos de cemento portland como se indica en la siguiente lista:

- *Tipo I.* Para uso general cuando ninguna propiedad especial es requerida, además de que no hay límite en la cantidad de los cuatro componentes principales.
- *Tipo IA.* Para uso general, pero con inductor de aire.
- *Tipo II.* Para uso general con resistencia moderada a los sulfatos.
- *Tipo II A.* Para uso general con resistencia moderada a los sulfatos, pero con inductor de aire.

- *Tipo II (MH)*. Para uso general con resistencia moderada a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- *Tipo II (MH)A*. Para uso general con resistencia moderada a los sulfatos y moderado calor de hidratación, pero con inductor de aire.
- *Tipo III*. Para uso cuando se requiere una alta resistencia inicial.
- *Tipo IIIA*. Para uso cuando se requiere una alta resistencia inicial, pero con inductor de aire.
- *Tipo IV*. Para uso cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- *Tipo V*. Para uso cuando se requiere alta resistencia a los sulfatos. (pág. 1)

Según la NTE INEN 2380 (2011), clasifica a los cementos hidráulicos con la siguiente nomenclatura:

- *Tipo GU*. Para uso general.
- *Tipo HE*. Alta resistencia inicial.
- *Tipo MS*. Moderada resistencia a sulfatos.
- *Tipo HS*. Alta resistencia a sulfatos.
- *Tipo MH*. Moderado calor de hidratación.
- *Tipo LH*. Bajo calor de hidratación. (pág. 2)

Para el presente trabajo se empleó cemento CHIMBORAZO HE (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), cuya característica principal es la alta resistencia inicial y que es fabricado según la normativa INEN 2380, recomendado para la elaboración de bloques de hormigón, ya que estos deben alcanzar una alta resistencia inicial para su posterior transporte y colocación.



Figura 5: Cemento Hidráulico

Fuente: UCEM – Cemento Chimborazo

2.3.4. AGUA

El componente principal en el hormigón es el agua, la cual junto con el cemento formará una pasta que unirá los agregados. El agua produce el endurecimiento del hormigón mediante un proceso llamado hidratación, que es una reacción química en la cual los principales componentes del cemento forman enlaces con las moléculas para convertirse en hidratos.

La función que tiene el agua es muy importante ya que la relación agua-cemento es el factor principal para obtener un buen hormigón, que al colocar agua en gran cantidad reducirá la resistencia de la mezcla, mientras que poca cantidad formará una mezcla poco trabajable (Mehta & Monteiro, 2005).

La calidad del agua es muy importante, ya que dependiendo de la composición de esta, el cemento y los agregados reaccionarán de diferente manera. Es permitida la utilización de agua potable como agua para mezclas de hormigón, sin necesidad de realizar ensayos que verifiquen el cumplimiento de los requisitos que indica la normativa ecuatoriana, respecto al agua para mezcla de hormigón (NTE INEN 2617, 2012).

2.4. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA BLOQUES

2.4.1. FABRICACIÓN ARTESANAL

La fabricación de bloques de hormigón en Ecuador es del tipo artesanal, en su mayoría, son muy pocas las empresas que lo han industrializado y ofrecen el cumplimiento de las Normas INEN. Estas bloqueras del tipo artesanal varían las proporciones del material a base de experiencia, repercutiendo en la capacidad del elemento.

Por lo general, las fábricas de bloques artesanales utilizan una sola dosificación sin considerar el uso del bloque, por lo que únicamente suelen variar el cemento y así diferenciar el costo de producción y su uso. En la bloquera de análisis, se toma en cuenta el tipo de mampostería para sus diferentes usos (no estructural y alivianamiento), sin embargo, desconocen si estos cumplen con los requerimientos de la norma. El proceso de fabricación de bloques artesanales se detalla a continuación, realizando comentarios en cada fase del trabajo.

2.4.1.1. Dosificación del bloque artesanal

La fabricación de los mampuestos, es controlada de manera empírica mediante sacos (caso del cemento), carretillas (agregado fino y grueso) y baldes (caso del agua), por lo que se procedió a transformar estas unidades en volumen. Para cada dosificación se obtiene aproximadamente 84 bloques de dimensiones (40x20x15) cm, tanto de mampostería no estructural, como de alivianamiento.

Tabla 3 *Dosificación del Bloque de Alivianamiento Artesanal*

Dosificación A		
Material	Volumen (m ³)	Peso (Kg/m ³)
Chasqui	0,65	656,96
Polvo azul	0,35	568,204
Cemento	0,024	69,23
Agua	0,08	88,49

Fuente: Fábrica de Bloques Artesanal

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Tabla 4 *Dosificación del Bloque de Mampostería no Estructural Artesanal*

Dosificación B		
Material	Volumen (m ³)	Peso (Kg/m ³)
Chasqui	0,46	466,48
Polvo azul	0,54	874,16
Cemento	0,022	62,94
Agua	0,08	81,82

Fuente: Fábrica de Bloques Artesanal

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.4.1.2. Proceso de Mezclado

El procedimiento inicia con la limpieza de la máquina mezcladora, removiendo residuos de la mezcla anterior. La máquina está conformada de tres aspas que giran 360 grados a razón de 90 revoluciones por minuto, que crean una mezcla adecuada.

Se añaden los agregados chasqui y polvo, dejando que se mezclen por aproximadamente tres minutos, posterior a esto se añade el cemento y se vierte el agua dejando mezclar otros tres minutos y controlando la textura de la mezcla, esta debe formar una masa que al hacer puño con la mano no escurra agua. Además, la mezcla adherida en las paredes de la máquina, debe ser removida en el proceso para no desperdiciar material.



Figura 6: Mezcla de Materiales

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.4.1.3. Proceso de Moldeo

Seguidamente de la preparación de la mezcla, se procede a colocar el material en la máquina compactadora, en la cual se puede introducir el molde para la fabricación de bloques con dimensiones (40x20x15) o (40x20x10). El material introducido debe ser colocado en la cantidad suficiente, para que al compactar se permita llenar la totalidad del molde, el cual debe completar un vibrado aproximado de cinco minutos.



Figura 7: Desmolde de Bloques

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Para el desmolde de los bloques, se lo realiza sobre un tablero de caucho con base de madera, para su posterior traslado hacia el sitio de secado y curado.

2.4.1.4. Curado De Bloques

El curado se lo realiza de forma manual con chorros de agua esparcidos uniformemente durante los primeros tres días, donde el elemento adquirirá la mayor parte de su resistencia.

Es importante que antes del curado el bloque no esté expuesto a condiciones excesivas de lluvia o sol que producen deformaciones del bloque o fisuras que afectarán su resistencia.

2.5. NORMA NTE INEN 306

Para una correcta fabricación de bloques de hormigón estos deben cumplir con la normativa NTE INEN 3066. El Ecuador al ser un país sísmicamente activo, es fundamental que existan estándares de calidad en los materiales y sistemas constructivos, por esto es necesario cumplir con los mínimos requerimientos de calidad del mampuesto de la normativa vigente.

2.5.1. REQUISITOS

Los mampuestos deben cumplir con tres aspectos básicos:

- Dimensiones y aspectos visuales
- Absorción
- Resistencia a la compresión simple

Estos requerimientos servirán de guía para saber si cumplen con la norma y analizar si son factibles ser usados, y además para conocer el tipo de uso en que van a ser empleados.

2.5.1.1. Dimensiones y aspectos visuales

Los mampuestos deben identificarse respectivamente de acuerdo a su clasificación, con marcas legibles y que no se puedan eliminar, de manera que no puedan ser confundidos. Los bloques muestreados deberán estar limpios, libres de todo reborde y cualquier material adherido a las superficies de los mismos (NTE INEN 3066, 2016).

Previo a la compra del mampuesto, se debe verificar que los mismos no presentan variaciones en forma, textura y tonalidad. Además, las unidades no pueden presentar más del 5 % del total del lote, alguno de los siguientes defectos:

Las dimensiones tomadas tanto de largo, ancho y altura real, no deben sobrepasar el rango máximo de ± 3 mm en las dimensiones nominales establecidas en la

Tabla 6.

- Poseer fragmentos despostillados en la superficie del bloque con un tamaño mayor a 25 mm.
- En caso de existir fisuras, estas no deben exceder en 0,5 milímetros de ancho y no deberá presentar longitudes que sobrepasen a 1/4 de la altura modular en ninguna de las caras del mampuesto.
- Mampuestos rotos.

Los bloques de mampostería no estructural y de alivianamiento, deben poseer tabiques y paredes con un espesor mayor a 13 milímetros, mientras que en bloques de mampostería estructural, se establecen los espesores mínimos de paredes y tabiques, como indica la **Tabla 5**.

Tabla 5 Dimensiones requeridas de espesores de paredes y tabiques en bloques clase A.

Ancho modular del bloque (mm)	Espesores mínimos de paredes y tabiques (mm)		Área mínima normalizada de tabiques (mm ² /m ²)
	Paredes	Tabiques	
≤ 100	19	19	45 140
101 a 150	25	19	45 140
> 150	32	19	45 140

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Para la identificación de las dimensiones de los bloques se puede recurrir a la **Tabla 6**, en la cual se muestran las relaciones largo, ancho y altura del bloque, así como las dimensiones modulares y nominales del mampuesto en milímetros.

Se pueden elaborar mampuestos con medidas diferentes a las de la **Tabla 6**, siempre y cuando el fabricante cumpla con los requerimientos tanto de resistencia, densidad y absorción establecidos en la norma NTE INEN 3066.

Tabla 6 Dimensiones de los bloques de hormigón recomendados en la norma

Dimensiones modulares (nm)			Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
4	3	2	400	300	200	390	290	190
3 x 2 x		2.5	300 x 200 x		250	290 x 190 x		240
		1.5			150			140
2	1	1	200	100	100	190	90	90

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.5.1.2. Absorción

Es importante realizar un control de absorción para evitar las contracciones que se producen durante el secado del bloque, además de cómo esta afecta a la succión que se produce entre el mortero y el bloque al momento de la construcción, y la exposición final de la mampostería.

Con el proceso de ensayo de absorción, también se calcula la densidad del bloque, el cual se lo puede clasificar mediante la siguiente tabla:

Tabla 7 Requisitos de absorción y densidad en Bloques Clase A

Tipo	Densidad del hormigón (kg/m ³)	Absorción de agua máxima promedio (kg/m ³)	Absorción de agua máxima por unidad (kg/m ³)
Liviano	< 1680	288	320
Mediano	1680 a 2000	240	272
Normal	> 2000	208	240

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

2.5.1.3. Resistencia a la compresión simple

La propiedad mecánica más importante en el control de calidad del bloque es la resistencia a la compresión, este parámetro dependerá de la dosificación del bloque, de la calidad de los agregados empleados, el proceso de fabricación del bloque (grado de compactación) y el curado del elemento. Con dicha resistencia obtenida, se establece el uso del bloque expresado en la **Tabla 8**.

Tabla 8 Resistencia a compresión simple en bloques de hormigón

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13.8	4.0	1.7
Por bloque	12.4	3.5	1.4
* 1 MPa = 10.2 kg/cm ²			

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS QUE CONFORMAN EL BLOQUE DE HORMIGÓN

3.1.1. ENSAYOS DEL AGREGADO FINO

Los ensayos en la fracción fina deberán cumplir con los procedimientos descritos a continuación. Los materiales caracterizados fueron el chasqui fino y el polvo azul, siguiendo las normas correspondientes.

3.1.1.1. Peso Específico de la fracción fina

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa INEN 856, la cual se basa en la ASTM C128. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**
 - Una vez seleccionada la muestra a ensayar se deberá eliminar el material pasante del tamiz #200 con el método de lavado como lo señala la norma INEN 697. Esto se realiza ya que de no eliminar esta fracción fina del agregado, se obtendrán resultados con menor densidad relativa y mayor absorción, en comparación con lo obtenido en el ensayo del mismo agregado fino.
 - La muestra ya lavada debe estar sumergida en un recipiente por un periodo de 24 horas, verificando que todas las partículas estén completamente cubiertas con agua. En el caso del chasqui fino que es un agregado liviano se puede incorporar una malla para que las partículas que flotan queden completamente sumergidas.



Figura 8: Muestra lavada de Polvo Azul siguiendo norma (NTE INEN 697)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Determinación de la Condición Saturada Superficialmente Seca (SSS):**
 - Una vez que han pasado las 24 horas, decantar el agua en exceso y tomar una muestra mayor a 500 gramos del material saturado.
 - En un recipiente de superficie plana y no absorbente extender la muestra para que alcance un secado homogéneo, la muestra puede estar expuesta a temperatura ambiente o permanecer por un tiempo determinado en un horno.
 - Para determinar que la muestra esté en las condiciones requeridas, se debe colocar el molde con forma de cono truncado en una base plana, con el diámetro de mayor dimensión apoyado en la parte inferior, posteriormente se va colocando la muestra dentro del molde y se irá compactando, de tal forma que al llenar el cono se hayan realizado 25 golpes ligeros con el apisonador.
 - Una vez que el molde esté lleno se retira las partículas que hayan quedado en los alrededores del cono y se levanta verticalmente el

molde, si al levantar el molde la muestra se desmorona ligeramente, el árido habrá alcanzado la condición SSS.¹



Figura 9: Ensayo para la determinación de la condición SSS del polvo azul y chasqui

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Procedimiento gravimétrico (picnómetro):**

- El picnómetro se debe llenar parcialmente con agua, posteriormente se coloca 500 gramos de la muestra en condición SSS con una tolerancia de ± 10 gramos.
- Adicionar agua hasta completar aproximadamente el 90% del volumen del picnómetro y se agita entre 15 a 20 minutos conectado a una bomba de vacíos para eliminar el aire contenido en el material.

¹ Nota: “Realizar el primer ensayo para esta determinación cuando todavía exista agua superficial en la muestra. Continuar secando con agitación constante y probar a intervalos frecuentes hasta que el ensayo indique que la muestra ha alcanzado la condición de superficie seca. Si el primer ensayo de determinación de humedad superficial indica que la humedad no está presente en la superficie, significa que se ha secado más allá de la condición saturada superficialmente seca; en este caso, mezclar íntegramente el árido fino con algunos cm^3 de agua y dejar que la muestra repose en un recipiente cubierto por 30 minutos. A continuación, reanudar el proceso de secado y ensayos a intervalos frecuentes hasta determinar el inicio de la condición de superficie seca” (NTE INEN 856, 2010).

- Una vez eliminadas las burbujas de aire en el picnómetro, llenar con agua hasta la marca de aforo y pesar el conjunto.
- Finalmente se retira la muestra del picnómetro, colocando la muestra en un recipiente y secándola en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 24 horas para luego obtener el peso seco del material.



Figura 10: Ensayo para determinación de la gravedad específica mediante picnómetro

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Datos necesarios:**

A: Peso de la muestra seca, g

B: Peso del picnómetro lleno con agua hasta la línea de aforo, g

C: Peso del picnómetro con la muestra y con agua hasta la línea de aforo, g

S: Peso de la muestra en condición SSS, g

$$\text{Densidad Relativa o Gravedad Específica (SH}^2) = \frac{A}{B + S - C} \quad [1]$$

$$\text{Densidad Relativa o Gravedad Específica (SSS}^3) = \frac{S}{B + S - C} \quad [2]$$

² SH: Seca al Horno

³ SSS: Saturada superficialmente seca

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad [3]$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S - A}{A} \times 100 \quad [4]$$

$$\text{Densidad(SH), } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica (SH)} \quad [5]$$

$$\text{Densidad(SSS), } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica (SSS)} \quad [6]$$

$$\text{Densidad Aparente (SSS), } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica Aparente} \quad [7]$$

3.1.1.2. Densidad Aparente de la Fracción Fina

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa INEN 858, la cual se basa en la ASTM C128. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**

Tabla 9 Capacidad del molde de acuerdo al tamaño del agregado

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal del molde (litros)
12,50	2,80
25,00	9,30
37,50	14,00
75,00	28,00
100,00	70,00
125,00	100,00

Fuente: (NTE INEN 858, 2010)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- Se debe determinar el diámetro nominal máximo del agregado para encontrar la capacidad nominal del molde a utilizar de acuerdo a la **Tabla 9**, una vez encontrado la capacidad del molde se toma la

cantidad de muestra suficiente para posteriormente secarla en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

La capacidad real del molde a utilizar debe ser de al menos el 95% del volumen seleccionado.

- **Procedimiento densidad aparente compactada (procedimiento por varillado):**
 - Llenar el primer tercio del molde con el material y compactar 25 veces la capa con una varilla de punta semi-redondeada de 1,6 centímetros de diámetro y 60 centímetros de largo, realizar el mismo procedimiento en la segunda y tercera parte del molde, verificando que la compactación con la varilla no penetre en la capa inferior.
 - Una vez llenado el molde nivelar la superficie y pesar.



Figura 11: Ensayo de densidad aparente compactada de polvo azul y chasqui fino

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Procedimiento densidad aparente suelta:**
 - Con una pala llenar completamente el molde, tomando en cuenta que el material debe caer de una altura no mayor a 5 centímetros respecto a la parte superior del molde y evitando vibraciones para que el material no se compacte.

- Nivelar la superficie y pesar.



Figura 12: Ensayo de densidad aparente suelta del polvo azul y chasqui fino

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Datos necesarios:**

D: Densidad aparente compactada o suelta, g/cm³

W1: Peso del molde, g

W2: Peso del molde con la muestra compactada o suelta, g

V: Volumen del molde, cm³

$$D = \frac{W2 - W1}{V} \quad [8]$$

3.1.1.3. Granulometría de la Fracción Fina

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la norma NTE INEN 696, la cual se basa en la ASTM C136. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**

- Obtener una muestra mínima de 300 gramos para agregado fino de peso normal (polvo azul) y una cantidad de muestra mínima como lo indica la .

- Secar las muestras a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 24 horas.
- **Tabla 10** para agregados finos de peso ligero (chasqui fino).
- Secar las muestras a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 24 horas.

Tabla 10 Cantidad mínima de muestra para granulometría en agregado fino ligero

Densidad aparente suelta del agregado [kg/m^3]	Cantidad mínima de muestra [g]
80-240	50
240-400	100
400-560	150
560-720	200
720-880	250
880-1040	300
1040-1120	350

FUENTE: (ASTM C330/C330M, 2017)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Procedimiento:**

Tabla 11 Requerimientos de gradación para áridos finos

Nro. De Tamiz	Porcentaje que pasa Agregado Fino de Peso Normal ⁴	Porcentaje que se retiene Agregado Fino Liviano ⁵
4 (4.75 mm)	95 a 100	0 a 10
8 (2.36 mm)	80 a 100	15 a 35
16 (1.18 mm)	50 a 85	15 a 35
30 (600 μm)	25 a 60	5 a 20
50 (300 μm)	5 a 30	5 a 15
100 (150 μm)	0 a 10	5 a 15

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

⁴Requerimiento para agregado fino de peso normal (ASTM C33/C33M, 2018)

⁵Sugerencia para agregado fino liviano en mampostería (ASTM C331/C331M, 2017)

- Se ordena la serie de tamices con las diferentes aberturas como indica la **Tabla 11**.
- Colocar el material en los tamices y ubicar la serie en la tamizadora mecánica, el periodo de tamizado debe ser el suficiente de tal manera que al finalizar no más del 1% del material retenido pase al siguiente tamiz por un periodo de un minuto de tamizado manual.
- Pesar el agregado que se retuvo en cada tamiz y con la siguiente ecuación obtener el módulo de finura.

$$M_{Finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acum. del tamiz No. (4, 8, 16, 30, 50, 100)}}{100} \quad [9]$$

3.1.1.4. Contenido Orgánico

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa INEN 855, la cual se basa en la ASTM C40. A continuación, se detalla la metodología.

- **Procedimiento:**

- La solución al 3% de hidrato de sodio (NaOH), se deberá preparar disolviendo 3 partes en peso del NaOH por cada 97 partes de agua.
- Colocar el árido hasta alcanzar un volumen de 130 cm³, a continuación se coloca el hidrato de sodio al 3% hasta alcanzar un volumen de 200 cm³, cerrar el envase de vidrio, agitar y finalmente dejar reposar por 24 horas.
- Con la placa de Gardner comparar el color obtenido.

Tabla 12 Comparador de color Escala Gardner

Color Normalizado Escala Gardner No.	Orden en la placa del comparador	Observación
5	1	Uso permitido
8	2	
11	3	Normalizado de referencia
14	4	Uso no permitido
16	5	

FUENTE: (NTE INEN 855, 2010)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga



Figura 13: Contenido Orgánico en Chasqui y Polvo Azul

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.1.2. ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO

Se caracteriza al agregado grueso (chasqui), cumpliendo con los procedimientos de los ensayos descritos a continuación.

3.1.2.1. Peso Específico En La Fracción Gruesa

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa INEN 857, la cual se basa en la ASTM C127. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**
 - Tomar una cantidad de muestra de agregados como indica la **Tabla 13**, previamente tamizada, eliminando el material pasante del tamiz No.4, y lavar dicha muestra para eliminar el polvo adherido.
 - Sumergir la muestra lavada durante 24 horas (para evitar que las partículas livianas floten, se deberá colocar una malla en el recipiente, logrando que estas se saturen completamente).

- **Procedimiento**
 - Secar la superficie de la muestra saturada con un paño absorbente, eliminando el agua superficial en exceso, hasta alcanzar la condición Saturada Superficialmente Seca.

Tabla 13 Cantidad de agregado grueso mínimo a ensayar

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg.
12.5 o menor	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

FUENTE: (NTE INEN 857, 2010)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- Registrar el peso del agregado grueso en condición SSS.
- Determinar el peso de la canastilla junto con una malla, la cual evitará que el agregado salga del recipiente, ya que el material flota debido a su baja densidad.
- Colocar el agregado liviano en la canasta junto con la malla y registrar el peso con la muestra sumergida.
- Colocar la muestra en un recipiente, registrar su peso sin perder ninguna partícula del material.
- Finalmente secar el agregado a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar una masa constante, obteniendo el peso seco del material.



Figura 14: Procedimiento de ensayo de gravedad específico en áridos gruesos

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Datos necesarios**

A: Peso de la muestra seca, g

B: Peso de la muestra en superficie saturada seca en aire, g

C: Peso de la muestra sumergida, g

$$\text{Gravedad Específica (SH)} = \frac{A}{B - C} \quad [10]$$

$$\text{Gravedad Específica (SSS)} = \frac{B}{B - C} \quad [11]$$

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{A - C} \quad [12]$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad [13]$$

$$\text{Densidad}(SH), \frac{kg}{m^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica}(SH) \quad [14]$$

$$\text{Densidad}(SSS), \frac{kg}{m^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica}(SSS) \quad [15]$$

$$\text{Densidad Aparente}(SSS), \frac{kg}{m^3} = 997.5 \times \text{Gravedad Específica Aparente} \quad [16]$$

3.2.2.2. Densidad Aparente En La Fracción Gruesa

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa INEN 858, la cual se basa en la ASTM C29. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**

- Determinar el diámetro máximo nominal del agregado para encontrar la capacidad nominal del molde a utilizar de acuerdo a la **Tabla 9**. Una vez encontrada la capacidad del molde, tomar la cantidad de muestra suficiente para posteriormente secarla en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Pesar y tomar las dimensiones del molde vacío.

- **Procedimiento Densidad aparente compactada:**

- Llenar el primer tercio del molde con el material y compactar 25 veces la capa con una varilla de 1,6 centímetros de diámetro y 60 centímetros de largo, realizar el mismo proceso en la segunda y tercera parte del molde, verificando que el varillado no sobrepase la capa inferior.
- Una vez llenado el molde nivelar la superficie y pesar.

- **Procedimiento Densidad aparente suelta:**

- Llenar completamente el molde con el agregado, tomando en cuenta que el material no debe caer desde una altura mayor a 50 milímetros

de la superficie del molde, evitando vibraciones para que el material no se compacte.

- Nivelar la superficie y pesar.

- **Datos necesarios:**

D: Densidad aparente compactada o suelta, $\frac{g}{cm^3}$

W1: Peso del molde, g

W2: Peso del molde con la muestra compactada o suelta, g

V: Volumen del molde, cm^3

$$D = \frac{W2 - W1}{V} \quad [17]$$



Figura 15: Ensayo de Densidad Compactada

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.2.2.3. Granulometría

El procedimiento del ensayo se realiza cumpliendo con la normativa NTE INEN 696, la cual se basa en la ASTM C136. A continuación, se detalla la metodología.

- **Preparación de la muestra:**

- La norma ASTM C330, indica que para agregados gruesos ligeros, se debe utilizar como muestra de ensayo 2830 cm³ o una cantidad superior. Posteriormente secar a una temperatura de 110°C ± 5°C por un periodo de 24 horas.
- Encontrar el tamaño nominal de la muestra mediante la siguiente tabla, para determinar el número de tamices a emplear.

Tabla 14 Gradación para agregados de peso ligero

Tamaño Nominal (mm)	PORCENTAJE PASANTE EN MASA									
	25.0 (mm)	19.0 (mm)	15.2 (mm)	9.5 (mm)	4.75 (mm)	2.36 (mm)	1.18 (mm)	300 (µm)	150 (µm)	75 (µm)
	1 in	3/4 in	1/2 in	3/8 in	No.4	No.8	No.16	No.50	No.100	No.200
Agregado fino										
4.75 – 0	-	-	-	100	85 - 100	-	40-80	10-32	5-25	-
Agregado Grueso										
25 – 4.75	95 – 100	-	25 - 60	-	0 – 10	-	-	-	-	0 – 10
19 – 4.75	100	90 – 100	-	10 – 50	0 – 15	-	-	-	-	0 – 10
12.5 – 4.75	-	100	90 – 100	40 – 80	0 – 20	0 – 10	-	-	-	0 – 10
9.5 – 2.36	-	-	100	80 – 100	5 – 40	0 – 20	0 – 10	-	-	0 – 10
Agregado grueso y fino combinado										
12.5 – 0	-	100	95 – 100	-	50 – 80	-	-	5 – 20	2 – 15	0 – 10
9.5 – 0	-	-	100	90 – 100	65 – 90	35 – 65	-	10 – 25	5 – 15	0 – 10

FUENTE: (ASTM C330/C330M, 2017)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- **Procedimiento:**

- Ordenar la serie de tamices con las diferentes aberturas a utilizar en la tamizadora mecánica.
- Colocar el material en la máquina tamizadora en un tiempo suficiente, de manera que al finalizar, el agregado retenido no pase al siguiente tamiz más del 1% mediante un tamizado manual de aproximadamente un minuto.
- Pesar el agregado que se retuvo en cada tamiz y con la siguiente ecuación obtener el módulo de finura.

$$M_{Finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado del tamiz } \left(1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , 4, 8, 16, 30, 50, 100 \right)}{100} \quad [18]$$

3.1.3. ENSAYO DE DENSIDAD DE CENIZA VOLCÁNICA

La (ASTM C311/C311M) refiere al ensayo de densidad con el mismo procedimiento para cementos hidráulicos establecidos en la ASTM C188, o a su vez se puede guiar en el procedimiento de la norma NTE INEN 156. A continuación, se detalla la metodología.

- **Procedimiento:**

- Colocar en el frasco de Le Chatelier la cantidad de reactivo establecida, sin superar el 1 cm³ de la marca señalada en la parte angosta del frasco.
- Registrar la primera lectura del volumen y el peso inicial del envase con el reactivo.
- Introducir 50 gramos de ceniza volcánica con ayuda de un embudo en el frasco, hasta llegar a la marca del cuello superior en el rango 18 y 24 cm³, procurando que no se atasque el material en el cuello.
- Agitar de manera circular al frasco para eliminar el contenido de aire.
- Registrar la segunda lectura del volumen y el peso final del envase con el reactivo y ceniza.

- **Datos necesarios:**

D: Densidad de la ceniza volcánica, $\frac{g}{cm^3}$

P1: Peso del envase con reactivo, g

P2: Peso del envase con reactivo y ceniza volcánica, g

L1: Primera lectura del volumen en cuello inferior, cm³

L2: Segunda lectura del volumen en cuello superior, cm³

$$D = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \quad [19]$$

3.1.4. RESUMEN DE PROPIEDADES OBTENIDAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Se realizaron los ensayos anteriormente descritos, cumpliendo con la normativa vigente, obteniendo así la siguiente tabla con las propiedades físicas de los áridos muestreados. Los datos se muestran en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 15 Resumen de la caracterización de agregados

Agregado	Módulo de finura MF	Densidad Aparente Suelta (g/cm ³)	Densidad Aparente Compactada (g/cm ³)	Peso Específico SH	Peso Específico S.S.S.	Peso Específico Aparente	Absorción de Agua (%)
Polvo	3,08	1,63	1,77	2,54	2,62	2,76	3,17
Chasqui Fino	4,04	0,72	0,77	1,16	1,63	2,16	39,60
Chasqui Grueso	6,24	0,40	0,43	0,73	1,18	1,31	60,15
Chasqui Mezclado	5,43	0,56	0,60	0,95	1,40	1,74	49,88

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

La norma ASTM 331/331M referente a agregados ligeros en bloques de hormigón, establece una clasificación de densidad para agregados de peso ligero, por lo que se puede determinar a qué tipo corresponde los diferentes agregados:

Tabla 16 Densidad Aparente Suelta Máxima para agregados livianos en bloques de hormigón

Agregado	Densidad Aparente Suelta Máxima (g/cm ³)
Agregado Fino 4,75 mm (No.4) a 0	1,12
Agregado grueso de 9,5 a 2,36 mm	0,88
Agregado fino y grueso combinado	1,04

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

A continuación, se muestra las gráficas de las curvas granulométrica de los diferentes agregados, con los límites requeridos para cada gradación de acuerdo a

las respectivas normas. Los pesos retenidos en cada tamiz se adjuntan en el ¡Error!
No se encuentra el origen de la referencia..

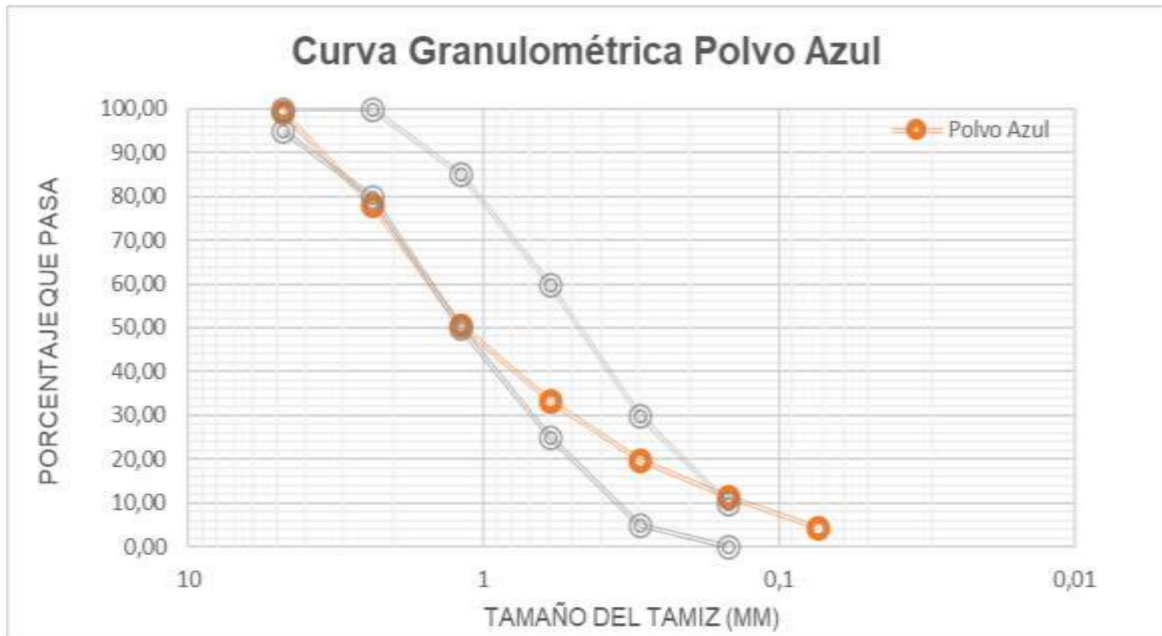


Figura 16: Curva Granulométrica Polvo Azul

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

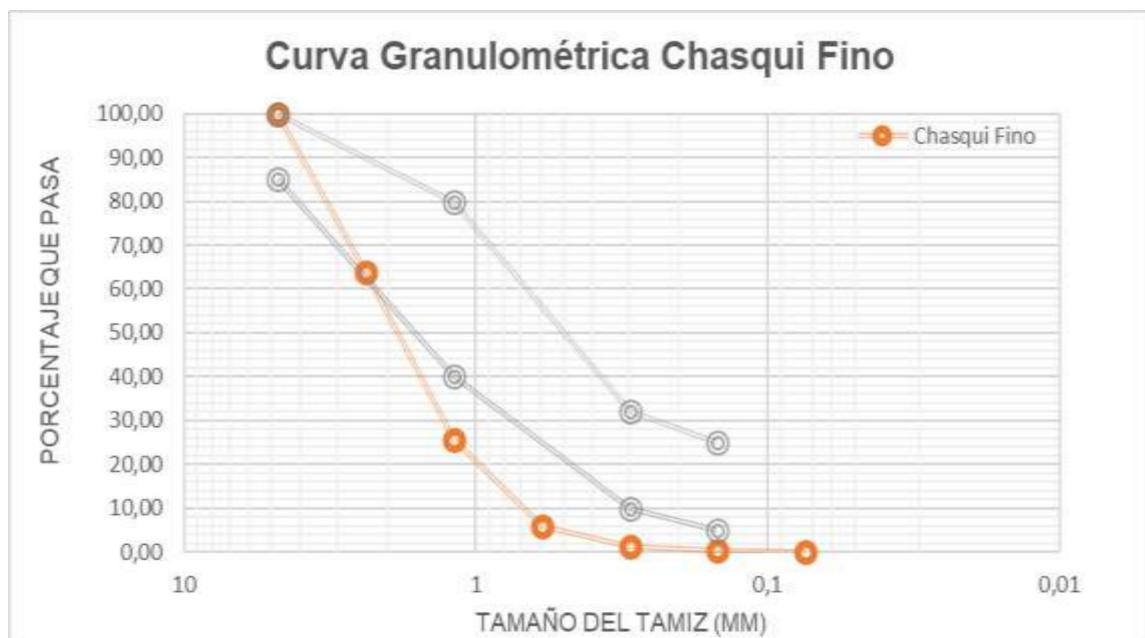


Figura 17: Curva Granulométrica Chasqui Fino

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

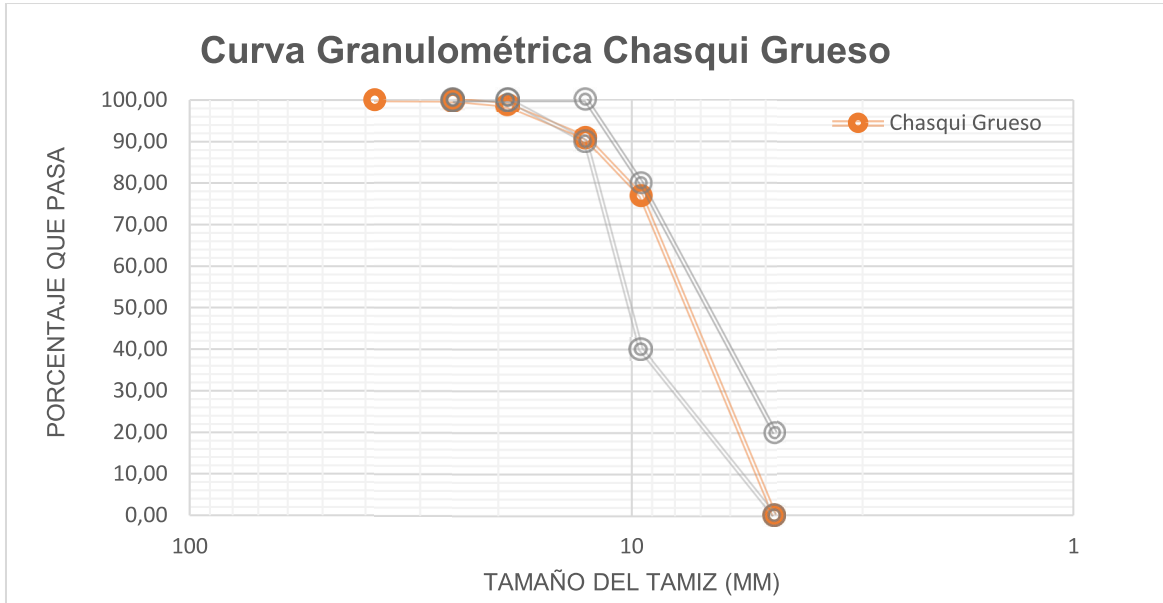


Figura 18: Curva Granulométrica Chasqui Grueso

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

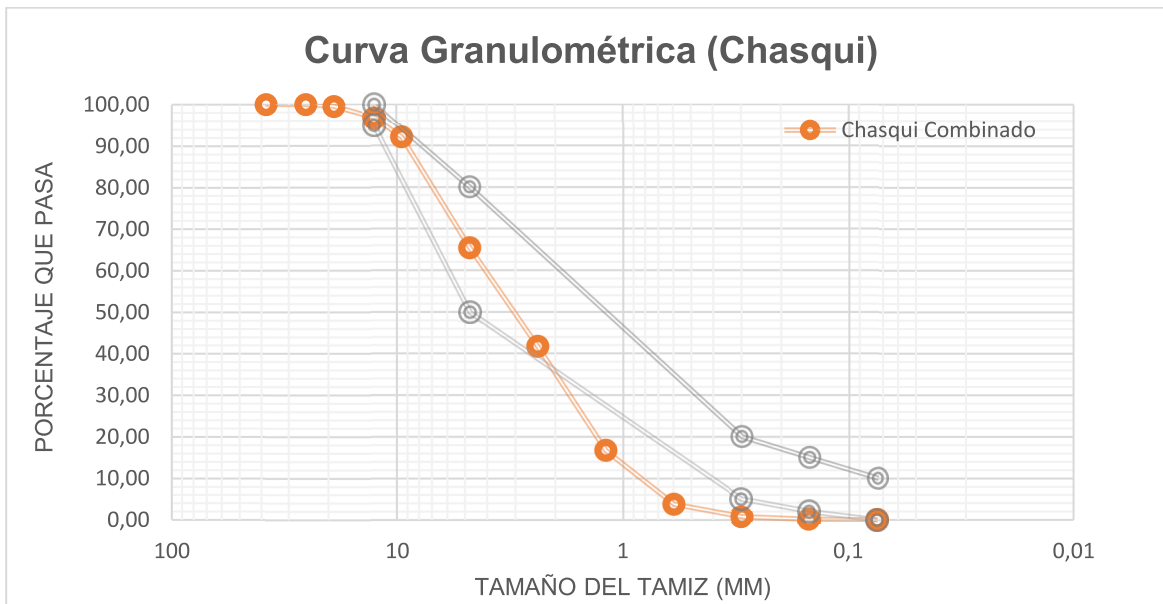


Figura 19: Curva Granulométrica Chasqui Combinado

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

La densidad de la ceniza volcánica del Cotopaxi es de aproximadamente 2,5 g/cm³.

Tabla 17 Densidad Ceniza Volcánica del Cotopaxi

Muestra	Masa de Ceniza (g)	P1	P2	L1	L2	Densidad (g/cm ³)
Ceniza Cotopaxi	50	333,8	383,0	0,3	20	2,5

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.2. OBTENCIÓN DE LA FRACCIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA QUE PASA EL TAMIZ #200

La ceniza proveniente del volcán Cotopaxi, se obtuvo de la ciudad de Latacunga, en el barrio San Felipe, $0^{\circ} 55'36.7''$, $-78^{\circ}38'52.01''$ a una altitud de 2852 msnm. El material se encuentra depositado en taludes pertenecientes a las diferentes actividades eruptivas del volcán y se lo puede reconocer por su color grisáceo.



Figura 20: Extracción de ceniza volcánica del Cotopaxi en barrio San Felipe – Latacunga

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Con la ayuda de una pala se extrajo el material del talud para posteriormente triturarlo y separar la fracción de ceniza que pasa por el tamiz Nro. 200.



Figura 21: Trituración y tamizado de ceniza volcánica

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.3. PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE LOS BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN EVALUADAS CON LA ACTUAL NORMATIVA INEN 3066

3.3.1. DIMENSIONES

Para determinar las propiedades de los mampuestos es necesario realizar el registro de las dimensiones de cada unidad de la siguiente manera:

- La altura debe ser medida en el centro del mampuesto y en sus respectivas paredes.
- El largo debe ser medido en el centro de la altura de cada pared.
- El ancho debe ser medido en el centro del bloque y en la superficie superior e inferior.
- En cada mampuesto, medir el espesor de tabique y espesor de pared en la zona más delgada de cada unidad.

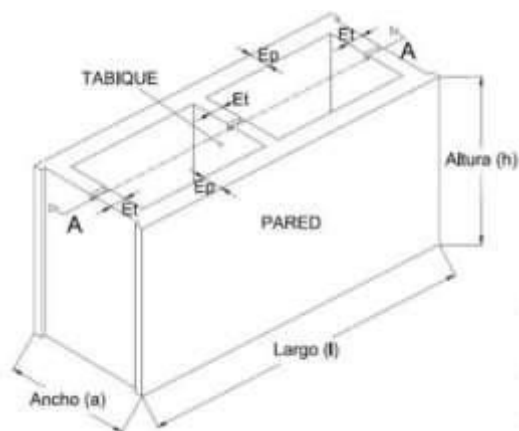


Figura 22: Partes que conforman el bloque

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

Determinación del área normalizada de tabiques

El área normalizada de tabiques se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{tn} = \frac{A_{tt}}{h * l} * 10^6 \quad [20]$$

- **Datos necesarios:**

A_{tn} : Área de tabiques normalizada, mm^2/mm^2

A_{tt} : Área total mínima de tabiques, mm^2/mm^2

l : Longitud del bloque, mm

h : Altura nominal del bloque, mm

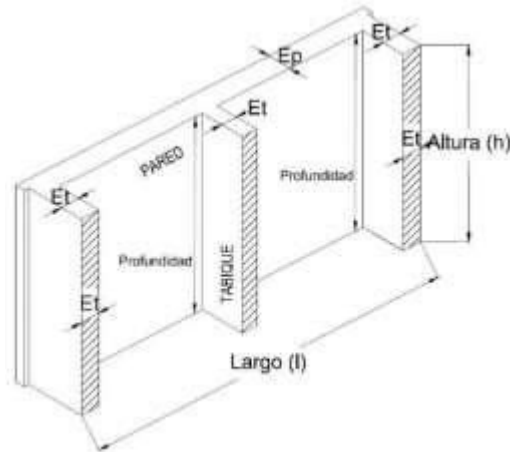


Figura 23: Área normalizada de tabiques

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

3.3.2. ABSORCIÓN, DENSIDAD Y OTROS



Figura 24: Medición del peso del bloque sumergido

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

El procedimiento de este ensayo se lo debe realizar de acuerdo al Anexo D de la norma NTE INEN 3066, para lo cual se deberán efectuar los ensayos de 3 unidades

enteras y sin defectos, cumpliendo los requisitos de dimensiones y aspectos visuales de la misma norma.

Preparación de la muestra

- **Saturación**

- Sumergir los bloques completamente en un tanque de agua, durante un lapso de 24 horas a 48 horas. La temperatura deberá estar comprendida en 21 ± 5 °C. Se determina la masa sumergida de cada bloque y se registra el valor como M_i .
- Retirar los bloques del tanque de agua y en una superficie plana apoyar el bloque para eliminar el agua en exceso presente en la superficie con una franela. Se determina la masa saturada del bloque y se registra el valor como M_s .
- Este procedimiento se deberá realizar cada 24 horas, de tal manera que al pesar dos veces consecutivas, la variación de la masa del bloque sea menor a 0.2%.

- **Secado en horno**

- Secar las muestras en un horno ventilado, entre 100 °C y 115 °C.
- Determinar la masa de las unidades cada 24 horas, de tal manera que al pesar dos veces consecutivas, la variación de la masa del bloque sea menor a 0.2%. Se registra el valor del bloque seco al horno como M_d .

3.3.2.1. Absorción del Bloque

- **Datos necesarios:**

M_i : Masa del bloque sumergido, kg.

M_s : Masa del bloque saturado, kg.

M_d : Masa del bloque seco al horno, kg.

$$\text{Absorción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} * 1000 \quad [21]$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100 \quad [22]$$

3.3.2.2. Contenido de humedad del Bloque

- **Datos necesarios:**

M_d : Masa del bloque seco al horno, kg.

M_r : Masa del bloque tal como se recibe, kg.

M_s : Masa del bloque saturado, kg.

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} * 100 \quad [23]$$

3.3.2.3. Densidad del Bloque

- **Datos necesarios:**

M_d : Masa del bloque seco al horno, kg.

M_s : Masa del bloque saturado, kg.

M_i : Masa del bloque sumergido, kg.

La densidad del bloque seco al horno se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Densidad (Kg/m}^3\text{)} = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000 \quad [24]$$

3.3.2.4. Área Neta Promedio

- **Datos necesarios:**

M_d : Masa del bloque seco al horno, kg.

V_n : Volumen neto de la unidad, mm³.

D : Densidad seca al horno, kg/m³

h : Altura promedio del bloque, mm.

M_s : Masa del bloque saturado, kg.

M_i : Masa del bloque sumergido, kg.

A_n : Área neta promedio de la unidad, mm².

Se calcula de la siguiente manera:

$$V_n (\text{mm}^3) = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) * 10^6 \quad [25]$$

$$A_n (\text{mm}^2) = \frac{V_n}{h} \quad [26]$$

El área neta obtenida con la expresión mostrada anteriormente muestra un valor mayor al área neta medida directamente a la superficie que soporta la carga. Esto se debe a que la fórmula que recomienda la norma está relacionada directamente con el volumen neto del bloque, y al tener una base sólida en el bloque se está sobreestimando el área que realmente soporta la carga. Por lo que para el presente trabajo el área neta se obtuvo midiendo el área de la superficie de contacto donde se aplica la carga.



Figura 25: Medición de bloques para cálculo de área neta

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.3.3. OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

Los bloques deberán ensayarse enteros, a excepción de que presenten las siguientes características.

- Se deberá eliminar las extensiones no compatibles mediante aserrado y si la altura resultante se ha visto afectada en más de un tercio de la altura inicial, se deberá ensayar solamente una fracción de ésta. Es recomendable que la fracción de la muestra a ensayar, posea una relación de 2 a 1 entre la altura/ancho y de 4 a 1 entre la longitud/ancho.

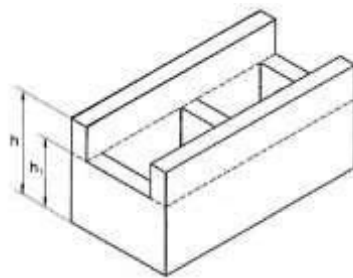


Figura 26: Extensiones no compatibles sobre el tabique

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

- Unidades demasiado grandes: Si el tamaño del bloque es mayor a las placas de carga de la máquina de ensayo, o la capacidad a compresión de la máquina no es suficiente para el ensayo, se deberá cortar la muestra a un tamaño adecuado para no sobrepasar el límite de capacidad que tiene la máquina de ensayo.

Además, el bloque debe ser refrentado para una correcta distribución de esfuerzos a compresión.



Figura 27: Refrentado de bloque para correcta distribución de carga

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Procedimiento ensayo de compresión

- Posición: El bloque debe ser ubicado de tal manera que el centro de la superficie de carga, se alinee verticalmente respecto al centro de aplicación de carga de la máquina de ensayo.



Figura 28: Ensayo a compresión de bloque

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

- Humedad: La muestra debe estar libre de toda humedad visible al momento del ensayo.
- Velocidad de ensayo: La carga debe ser aplicada a cualquier velocidad conveniente hasta alcanzar el 50% de la carga esperada. Posteriormente, ajustar los controles para mantener una velocidad constante de tal forma que la carga restante se aplique en un lapso de 1 a 2 minutos.

Cálculo de la resistencia a compresión

$$\text{Resistencia a la compresión área bruta (MPa)} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_g} \quad [27]$$

$$\text{Resistencia a la compresión área neta (MPa)} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_n} \quad [28]$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$: Carga máxima a compresión, N.

A_g : Área bruta de la unidad, mm^2 .

A_n : Área neta de la unidad, mm^2 .

3.4. DISEÑO DE BLOQUE PATRÓN

3.4.1. METODOLOGÍA ACI 211.2

El ACI 211.2 “Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete” describe 2 métodos para dosificar y ajustar las proporciones de hormigón de grado estructural que contiene agregados livianos.

- El método 1, el cual es aplicable al emplear árido liviano grueso y árido fino de peso normal.
- El método 2, el cual es aplicable al emplear una mezcla de agregados fino y grueso ligeros, o al combinar agregados livianos con agregados de peso normal.

En la presente investigación al caracterizar los materiales se obtuvo un agregado grueso ligero, mientras que en los agregados finos se clasificó al polvo azul como agregado de peso normal y al chasqui fino como agregado ligero de acuerdo a la **Tabla 16** por lo que se debe apegar al método 2.

3.4.1.1. Método 2. Método Volumétrico

Se deben considerar varios puntos al hacer uso de agregados de peso ligero, debido que a diferencia de los agregados de peso normal, los agregados livianos poseen un gran porcentaje de absorción, por lo que suele recomendarse mezclas de prueba basadas en volúmenes sueltos y húmedos, ya que absorberá menos agua durante el mezclado y formará una mezcla más trabajable (ACI 211.2, 1998).

El volumen total de agregados requerido, se mide como la suma de los volúmenes no combinados sueltos húmedos. Tanto las proporciones de los agregados finos (ligeros o de peso normal) y los agregados gruesos livianos, así como las propiedades y el total de volumen suelto de los agregados a emplear, son variables del hormigón que se va a producir. Para lo cual se debe estimar la cantidad de cemento necesaria para producir un nivel de resistencia a la compresión requerido y que cumpla con un hormigón liviano (ACI 211.2, 1998).

El (ACI 211.2) recomienda consultar al productor de agregados el contenido de cemento necesario para obtener una aproximación más cercana del contenido de cemento y las proporciones de agregados requeridas para lograr la resistencia y el peso unitario deseados con el agregado específico. Y de no estar disponible esta información se debe realizar un número suficiente de mezclas con diferentes contenidos de cemento para lograr diferentes resistencias a la compresión, hasta llegar a la resistencia deseada.

Estimación de contenido de cemento

La relación entre la cantidad de cemento de la mezcla y la resistencia puede variar por dos factores:

- Por la fuente del agregado.
- Por las proporciones de agregado grueso y fino que se emplee en la mezcla.

Sin embargo, se puede realizar una estimación de un rango de contenido de cemento para una resistencia requerida de acuerdo a la siguiente figura.

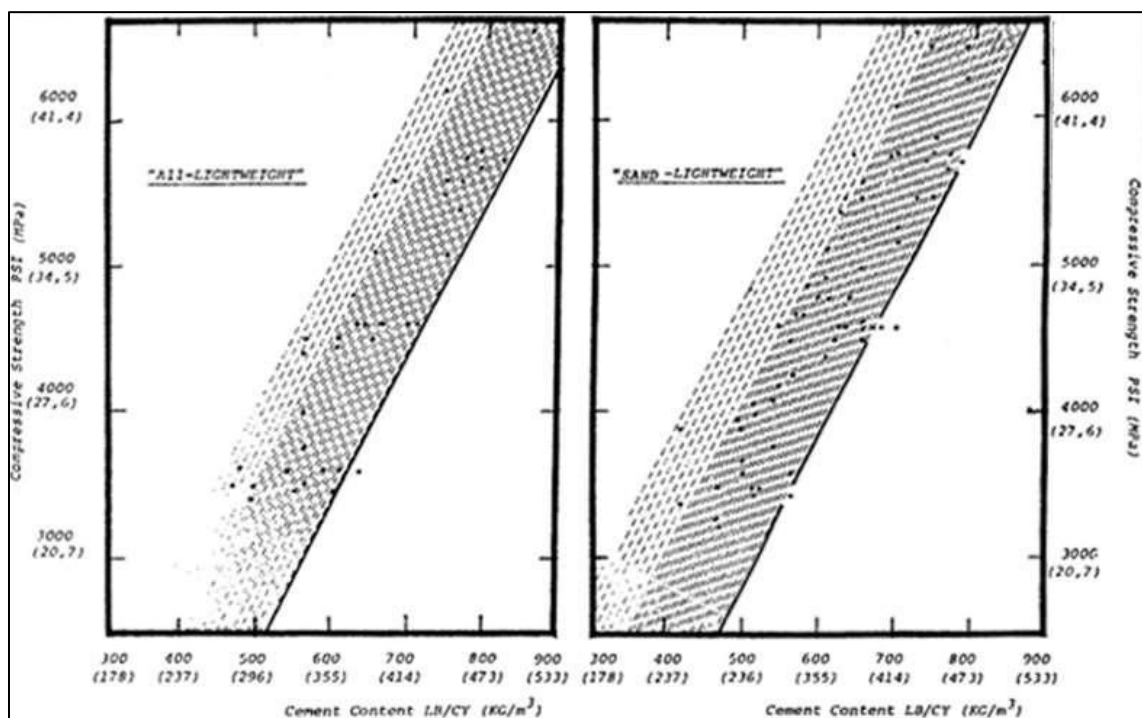


Figura 29: Relación de cantidad de cemento de la mezcla y su resistencia a compresión

Fuente: (ACI 211.2, 1998)

3.4.2. DOSIFICACIÓN BLOQUERA

La fábrica de bloque artesanal realiza únicamente bloques de uso de mampostería clase B y Alivianamiento clase C. La dosificación del bloque artesanal se muestra en la **Tabla 4**.

Se ensayaron 3 bloques para determinar si los bloques cumplen con la normativa NTE INEN 3066. Dando los siguientes resultados para bloques clase B.

Tabla 18 Resistencia Bloque Artesanal clase B a los 28 días

No.	RESISTENCIA [MPa]	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]
B1	2,84	3,31
B2	3,76	
B3	3,33	

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Tabla 19 Resultados de propiedades físicas de bloques artesanales clase B

No.	B4	B5	B6	PROMEDIO
HUMEDAD [%]	45,7	45,4	37,2	42,8
DENSIDAD [kg/m ³]	1639,8	1632,1	1547,9	1606,6
VOL NETO [mm ³]	5196000,0	4655600,0	4668700,0	4840100,0
AREA NETA [mm ²]	264203,4	232780,0	234215,7	243733,0
ABSORCION [kg/m ³]	236,8	243,8	256,6	245,7
ABSORCION [%]	14,4	14,9	16,6	15,3

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Se realizó el cubicaje de la dosificación de la bloquera, para estimar que cantidad de contenido de cemento es utilizado por metro cúbico de agregado. El contenido de cemento obtenido es de aproximadamente 62.94 kilogramos por metro cúbico, obteniendo una resistencia promedio a compresión de 3.31 MPa.

3.4.3. DETERMINACIÓN DE BLOQUE PATRÓN

Como muestra la **Figura 29**, el rango de valores de resistencia a la compresión es mayor a 20 Mpa. Se realizó la gráfica para mezcla de agregados livianos de peso normal con livianos, a partir de los puntos de la figura mencionada, para determinar la ecuación lineal, la cual servirá para estimar la cantidad de cemento de acuerdo a la resistencia requerida, tanto para bloques estructurales clase A como bloques de mampostería clase B.

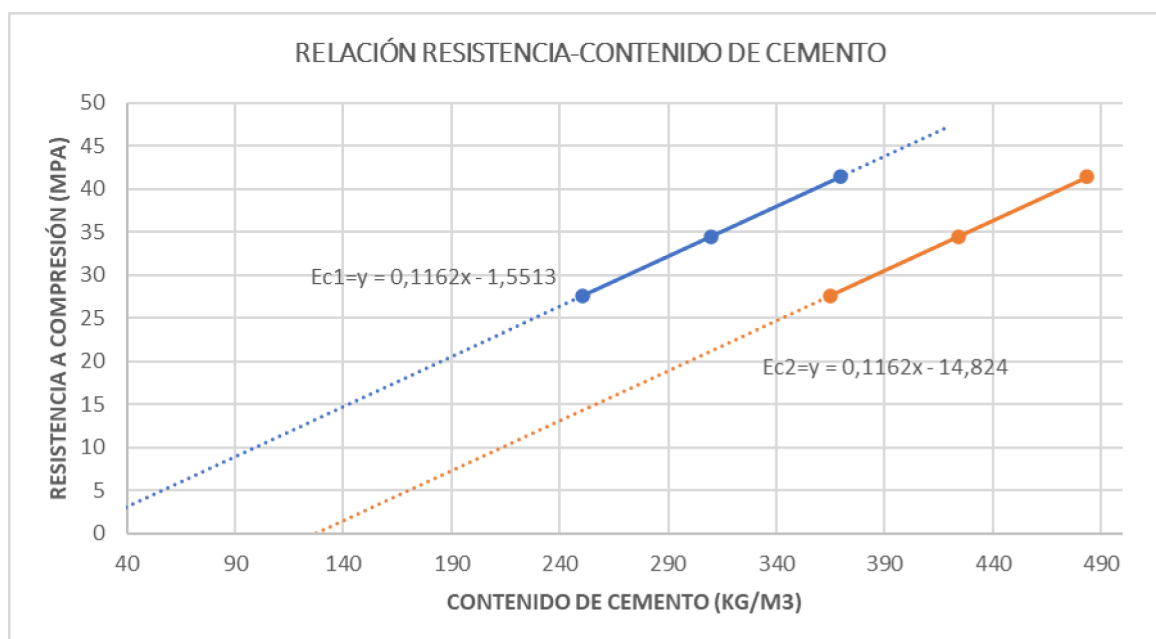


Figura 30: Relación entre el contenido de cemento de la mezcla y la resistencia a compresión para mezcla de agregados liviano y normal

Fuente: (ACI 211.2, 1998)

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

En función de las ecuaciones obtenidas en la **Figura 30**, se puede estimar un rango del contenido de cemento necesario para una resistencia determinada, estableciendo qué cantidad de cemento necesita un bloque de mampostería estructural clase A y uno de uso no estructural clase B, para cumplir con los requerimientos de resistencia a compresión de la normativa INEN 3066, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20 *Contenido de cemento para resistencia a compresión requerida en bloques clase A y B*

RESISTENCIA REQUERIDA (Mpa)	CONT. CEMENTO EC.1 (kg/m ³)	CONT. CEMENTO EC.2 (kg/m ³)
4	47,77	162,00
13,8	132,11	246,33

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

A partir de esta estimación se puede determinar que el contenido de cemento de 62.94 kilogramos por metro cúbico, utilizado en la fábrica de bloque artesanal entra en el rango para la resistencia requerida para bloques clase B. Para lo cual se busca mejorar la resistencia a la compresión promedio del bloque de un valor de 3.31 Mpa a uno mayor a 4Mpa, variando únicamente los materiales.

Dado que la fábrica de bloques artesanal no elabora unidades estructurales clase A, se estimará la cantidad de cemento a partir de la proporción óptima de agregados definida para el bloque clase B.

3.4.3.1. Bloques Clase B

Tabla 21: *Resistencias a compresión a los 14 días del bloque con distintas proporciones de agregados*

Contenido de Cemento: 62.94 kg/m ³			
Relación (Chasqui: Polvo)	No.	RESISTENCIA [Mpa]	RESISTENCIA PROMEDIO [Mpa]
1.25:2	C1	3.57	3.40
	C2	3.29	
	C3	3.34	
1:1.75	D1	3.85	3.84
	D2	3.71	
	D3	3.97	
1:1.5	E1	4.53	4.41
	E2	4.31	
	E3	4.40	
1:2	F1	3.14	3.20
	F2	3.42	
	F3	3.04	

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Se realizaron varias dosificaciones con la misma cantidad de cemento del bloque artesanal (ver ¡**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), pero con distintas proporciones de agregados, para determinar cómo influye en la resistencia a la compresión del bloque, determinando el cumplimiento con la resistencia requerida según la norma NTE INEN 3066.

A partir de los valores obtenidos en la **Tabla 21**, se puede establecer que al aumentar el polvo azul disminuye la resistencia a compresión del bloque tal como se muestra en la **Figura 31**, sin embargo, el material es necesario para brindar un correcto moldeo en la elaboración del bloque.

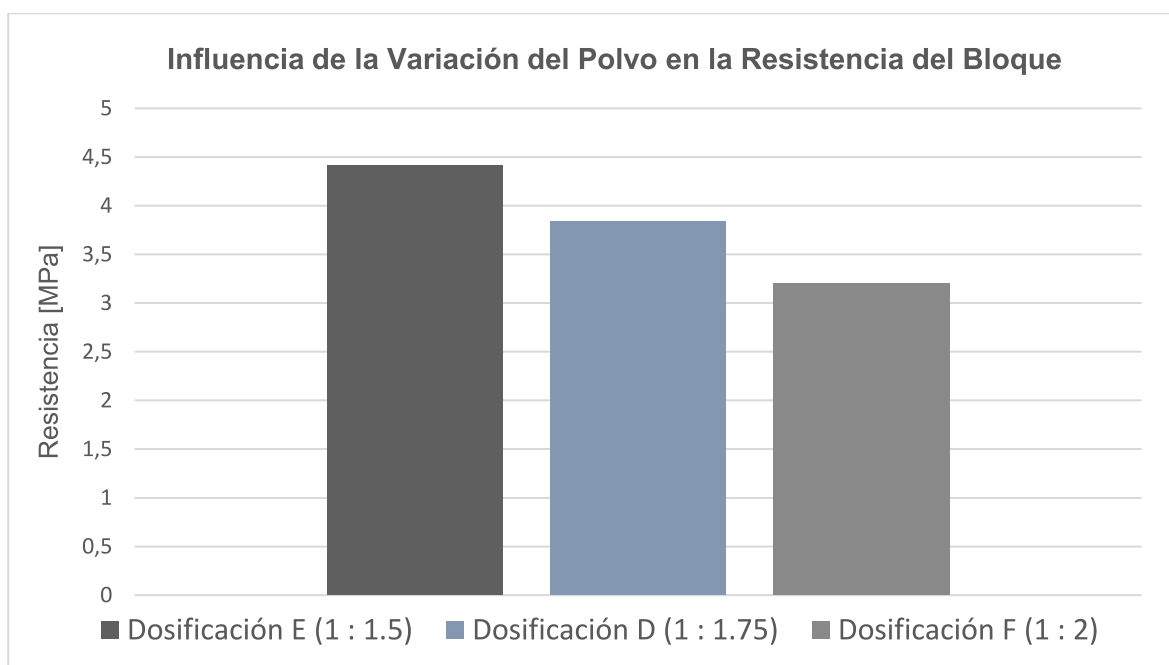


Figura 31: Variación de la resistencia por influencia de polvo azul en la mezcla

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

En comparación del polvo azul, el chasqui es el agregado que aporta una mayor resistencia a compresión en el bloque, como muestra la **Tabla 21** y la **Figura 32** respectivamente.

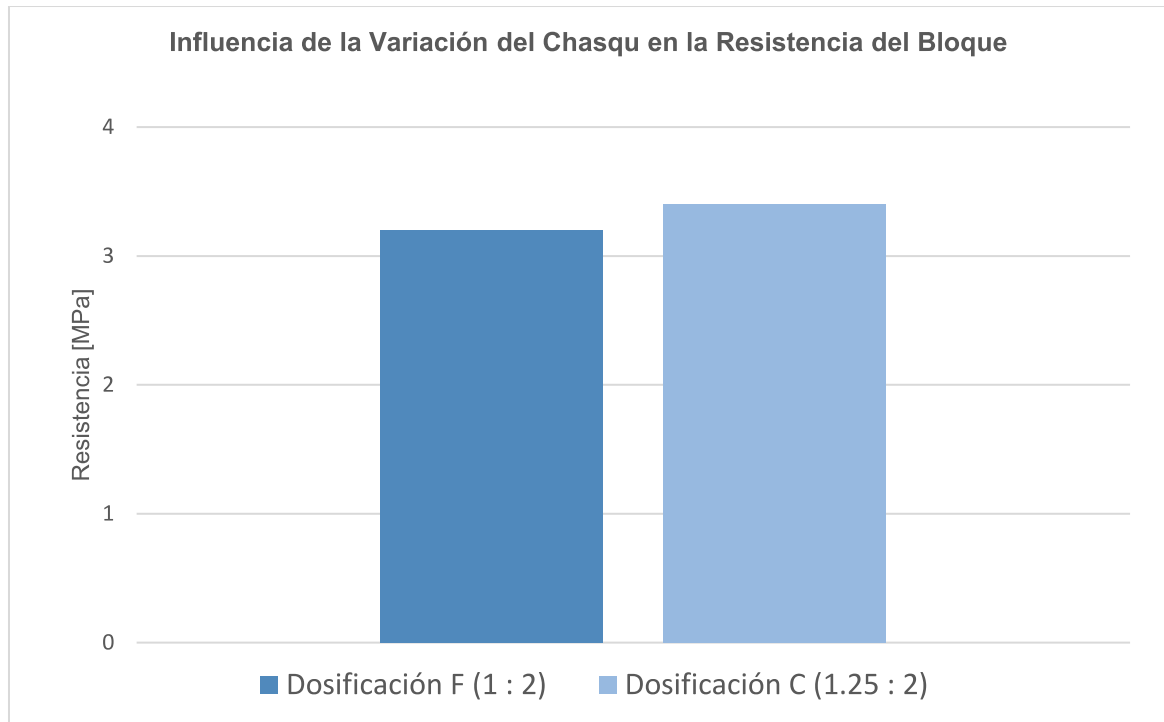


Figura 32: Variación de la resistencia por influencia del chasqui en la mezcla

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Una vez realizada la comparación de resistencia a la compresión en las distintas proporciones de agregados, se establece la dosificación “E” con una resistencia de 4,41 MPa ensayada a los 14 días, como la relación óptima de agregados en la mezcla.

3.4.3.2. Bloques Clase A

A partir de la proporción de agregados de la dosificación E, se procede a variar el contenido de cemento (como indica el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para obtener la resistencia requerida como indica la norma NTE INEN 3066 para bloques estructurales.

De acuerdo a la **Tabla 20** los límites establecidos de contenido de cemento para una resistencia de 13.8 MPa están en el rango entre 132.11 y 246.33 kilogramos por metro cúbico, por lo que se realizaron las siguientes pruebas dentro de este rango:

Tabla 22 Resistencia a la compresión a los 14 días para bloque estructural

No.	RESISTENCIA [MPa]	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]	CONTENIDO CEMENTO [kg/m ³]
SA1	9,21	8,96	218,2
SA2	8,37		
SA3	9,29		
SB1	9,82	9,40	240,0
SB2	9,25		
SB3	9,13		

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Al no alcanzar la resistencia promedio requerida, se realizó una gráfica relacionando los contenidos de cemento de las muestras (E, SA y SB) con las resistencias a compresión de las mismas. Esto se realizó para estimar la cantidad de cemento necesaria para llegar a la resistencia de 13,8 MPa.

Tabla 23 Contenido de cemento y resistencia obtenida para cada bloque

MUESTRA	CONT. CEMENTO [kg/m ³]	RESISTENCIA [MPa]
E1	81,8	4,53
E2		4,31
E3		4,4
SA1	218,2	9,21
SA2		8,37
SA3		9,29
SB1	240	9,82
SB2		9,25
SB3		9,13

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

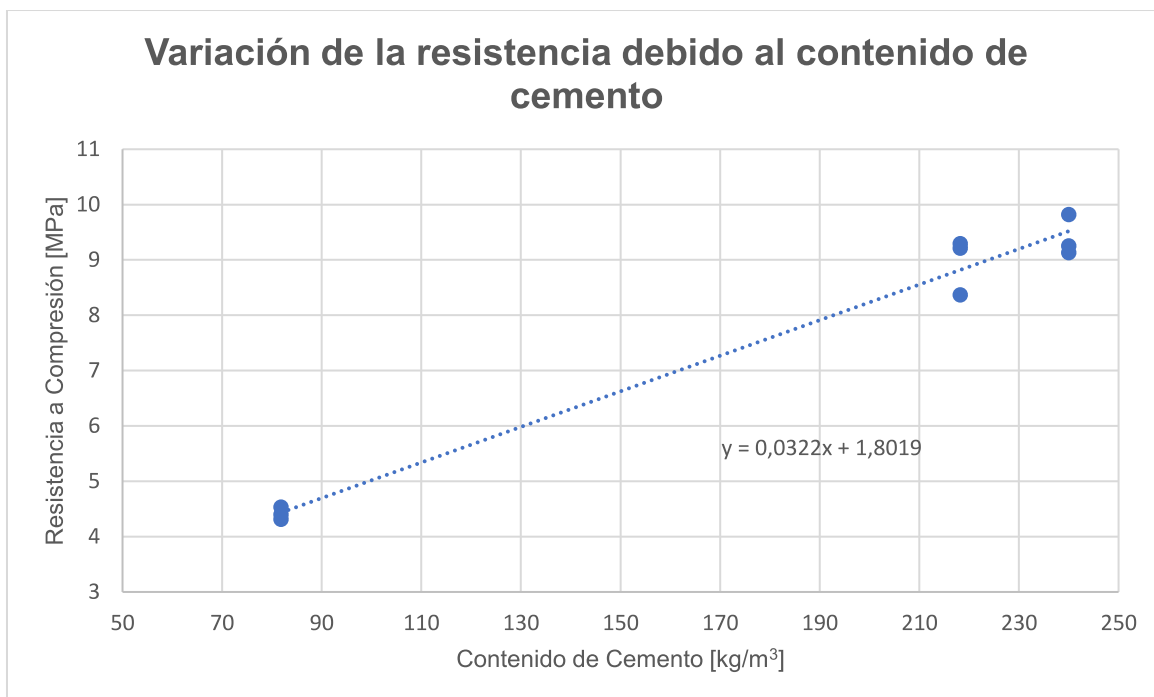


Figura 33: Curva de relación entre la resistencia a compresión y el contenido de cemento

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Partiendo de la ecuación obtenida de la figura anterior, se estimó una cantidad de cemento de 372.67 kilogramos por metro cúbico para alcanzar la resistencia requerida, siendo este valor muy alto. Por lo tanto, se realizó una prueba adicional con una cantidad de cemento de 280 kilogramos por metro cúbico, sin embargo, la mezcla dejó de ser trabajable, concluyendo que no es posible elaborar un bloque estructural que cumpla con la resistencia mínima que se establece en la normativa INEN 3066 con esta clase de agregado.

3.4.3.3. Bloque Patrón

Una vez determinado que con el agregado utilizado solo es posible elaborar bloques clase B para paredes no estructurales, se definió la dosificación del bloque patrón para una resistencia promedio de 5.74 MPa. A partir de esta dosificación se realizará el reemplazo de los diferentes porcentajes de ceniza volcánica.

Tabla 24 *Dosificación para el bloque patrón.*

Dosificación N		
Contenido de Cemento: 90 kg/m³		
Material	Peso (Kg)	Volumen (m³)
Chasqui	36,36	0,40
Polvo azul	86,36	0,60
Agua	10,50	0.08

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Tabla 25 *Resistencia a compresión del bloque patrón ensayado a los 28 días*

	No.	RESISTENCIA [MPa]	RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]
BLOQUE PATRÓN	N1	6,21	5,74
	N2	5,59	
	N3	5,27	
	N4	5,64	
	N5	6,08	
	N6	5,50	
	N7	5,86	

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Tabla 26 *Propiedades físicas y mecánicas del bloque patrón*

No.	Bloque Patrón
RESISTENCIA PROMEDIO [MPa]	5,74
HUMEDAD PROMEDIO [%]	44,7
DENSIDAD PROMEDIO [kg/m³]	1605,2
VOLUMEN NETO PROMEDIO [mm³]	4828733,3
AREA NETA PROMEDIO [mm²]	241852,4
ABSORCION PROMEDIO [kg/m³]	243,1
ABSORCIÓN PROMEDIO [%]	15,1

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

3.5. BLOQUE CON PROPORCIONES DE CENIZA

A partir de la dosificación patrón mostrada anteriormente en la **Tabla 24**, se reemplazó el cemento con el 5%, 10%, 20% y 30% de la fracción de ceniza volcánica de tamaño menor al tamiz #200.



Figura 34: Reemplazo de ceniza volcánica

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

La resistencia a compresión obtenida para cada porcentaje de ceniza se ensayó a los 28 días como indica la siguiente tabla.

Tabla 27 Resistencia a compresión con los distintos porcentajes de ceniza a los 28 días

	No.	RESISTENCIA [MPA]
5%	5A	4,76
	5B	4,52
	5C	4,73
	5D	4,82
	5E	5,11
	5F	4,93
	5G	4,36
10%	10A	3,97
	10B	3,78
	10C	3,75
	10D	3,72
	10E	4,12
	10F	3,62
	10G	3,90
20%	20A	2,78
	20B	2,71
	20C	2,94
	20D	3,04
	20E	2,75
	20F	3,02
	20G	3,09
30%	30A	2,15
	30B	2,53
	30C	2,32
	30D	2,25
	30E	2,23
	30F	2,55
	20G	2,14

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Además, se obtuvieron los siguientes resultados de humedad, densidad y absorción mostrados a continuación:

Tabla 28 Resumen de resultados obtenidos para los distintos porcentajes de ceniza volcánica

No.	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	VOL NETO (mm ³)	VOL PROMEDIO (mm ³)	AREA NETA (mm ²)	AREA PROMEDIO (mm ²)	ABSORCION (kg/m ³)	ABSORCIÓN PROMEDIO (kg/m ³)	ABSORCION (%)	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)
5%	5H	36,1	1588,2	1575,9	4785000,0	4779400,0	243305,1	240603,4	246,5	248,1	15,5	15,7
	5I	39,0	1614,8		4499000,0		224950,0		254,9		15,8	
	5J	32,1	1524,6		5054200,0		253555,2		243,0		15,9	
10%	10H	41,2	1523,2	1550,5	4899400,0	4756366,7	244970,0	238605,0	248,6	249,7	16,3	16,1
	10I	45,7	1553,6		4673000,0		236010,1		253,5		16,3	
	10J	44,0	1574,7		4696700,0		234835,0		247,0		15,7	
20%	20H	37,2	1547,9	1535,3	4668700,0	4750566,7	234215,7	239417,0	256,6	250,3	16,6	16,3
	20I	38,5	1533,2		4787500,0		244260,2		241,9		15,8	
	20J	37,5	1524,8		4795500,0		239775,0		252,5		16,6	
30%	30H	27,9	1551,9	1528,3	4614600,0	4719433,3	230730,0	236230,6	253,4	252,9	16,3	16,5
	30I	34,8	1496,5		4899200,0		244960,0		246,0		16,4	
	30J	29,4	1536,6		4644500,0		233001,7		259,1		16,9	

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Se ensayaron tres bloques como indica la normativa INEN 3066, para determinar los resultados de densidad y absorción, verificando que las unidades cumplan con los requisitos de la misma.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de los ensayos realizados, se presenta un análisis de los resultados obtenidos, mediante una comparación entre las características físico-mecánicas del bloque de hormigón patrón y los bloques con los distintos porcentajes de ceniza.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES

Mediante el ensayo de compresión, se determinó que al aumentar el porcentaje de ceniza en el bloque, la resistencia neta en el mampuesto disminuye significativamente siguiendo una línea de tendencia cuadrática, tal como indica la **Figura 36** y la siguiente tabla.

Tabla 29 *Comparación de resistencia promedio entre el bloque patrón y los diferentes porcentajes de ceniza*

Porcentaje De Ceniza	Resistencia Promedio [MPa]
Patrón	5,74
5%	4,86
10%	3,84
20%	2,90
30%	2,31

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

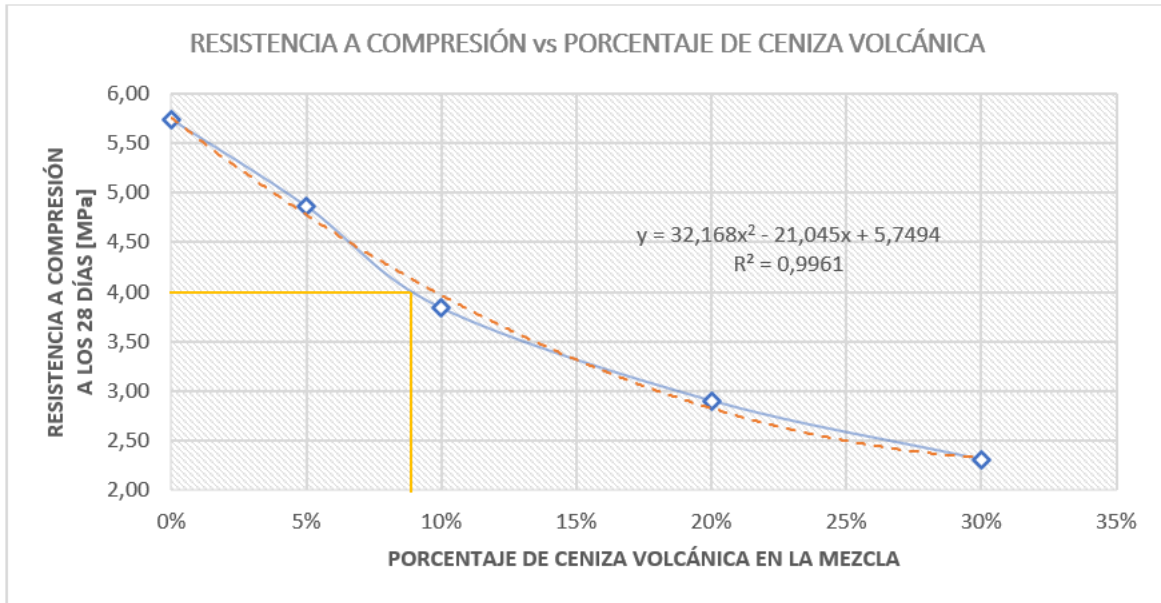


Figura 35: Relación entre el porcentaje de ceniza reemplazado y la resistencia a compresión

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

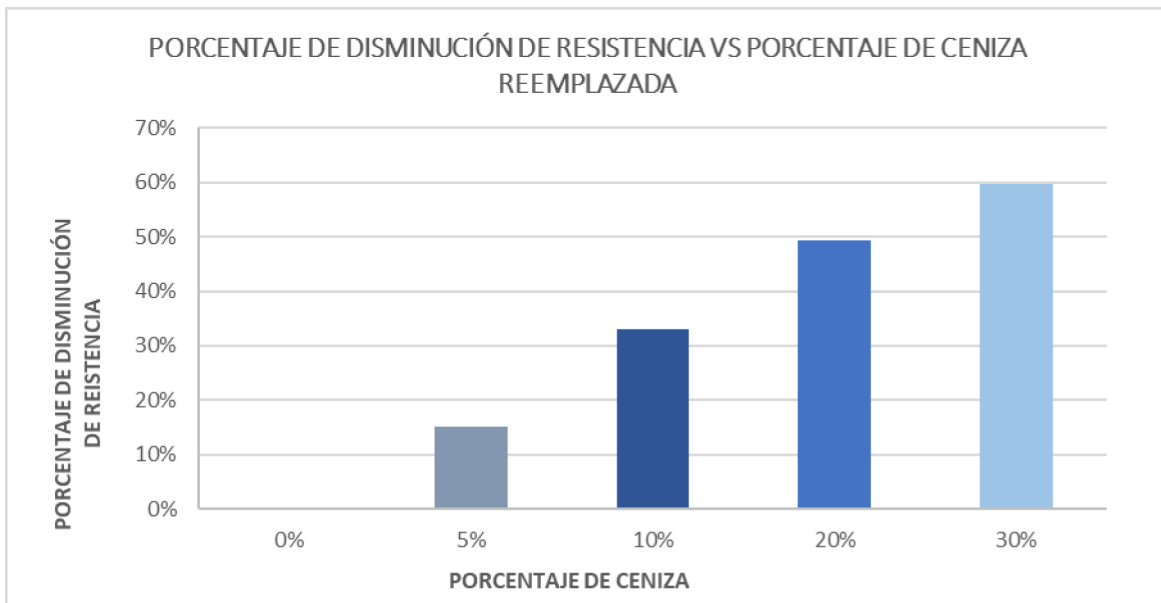


Figura 36: Curva del porcentaje de disminución de resistencia a compresión al reemplazar los diferentes porcentajes de ceniza en el cemento

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD EN BLOQUES

Como se observa en la **Figura 37**, existe una disminución en la densidad al aumentar el porcentaje de ceniza en los bloques, sin embargo, los valores no disminuyen significativamente como se observa en la **Figura 38**.

Tabla 30 Variación de densidad para cada porcentaje de ceniza reemplazado

Porcentaje de Ceniza	Densidad (kg/m ³)	Disminución de densidad (%)
Patrón	1605,19	0,0%
5%	1575,86	1,8%
10%	1550,51	3,4%
20%	1535,29	4,4%
30%	1528,35	4,8%

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

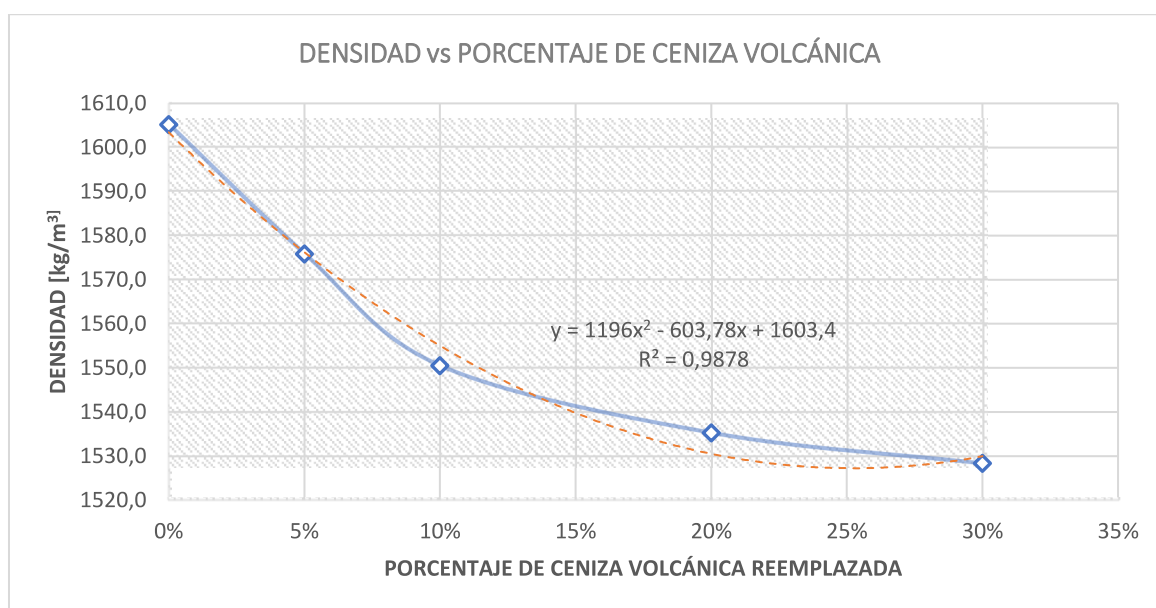


Figura 37: Variación de la densidad al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

La línea de tendencia de variación de densidad con respecto al porcentaje de ceniza, sigue una tendencia potencial de grado 2, mostrando una disminución de densidad casi lineal hasta el 10% de reemplazo de ceniza y suavizándose hasta el 30% de porcentaje de ceniza reemplazada.

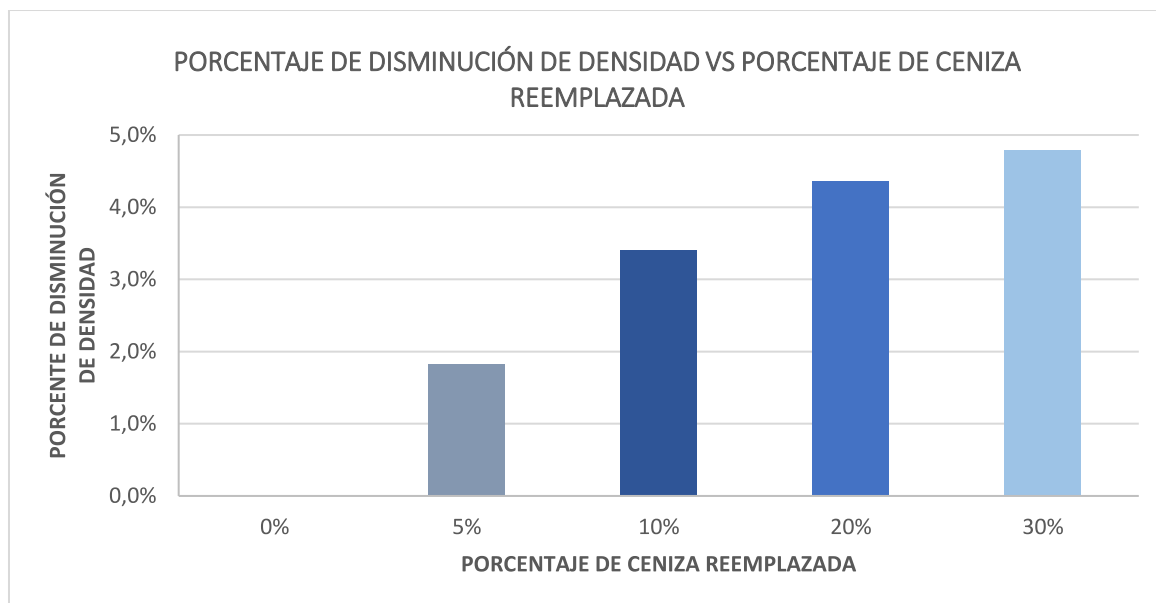


Figura 38: Gráfica del porcentaje de disminución de densidad al reemplazar los diferentes porcentajes de ceniza en el cemento

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Como se presenta en la figura anterior, el porcentaje de decremento de densidad no sobrepasa el 5% respecto al bloque patrón.

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE ABSORCIÓN EN BLOQUES

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio obtenidos en el ensayo de absorción para los distintos porcentajes de ceniza utilizados, determinando que la absorción aumenta con una línea de tendencia de grado 3, a medida que incrementa el porcentaje de ceniza en la mezcla, tal como muestra la **Figura 39**.

Tabla 31 Valores de absorción para cada porcentaje de ceniza reemplazada

Porcentaje de Ceniza	ABSORCION PROMEDIO [kg/m ³]	ABSORCIÓN PROMEDIO %
Patrón	243,08	15,15
5%	248,11	15,75
10%	249,69	16,11
20%	250,35	16,31
30%	252,85	16,54

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

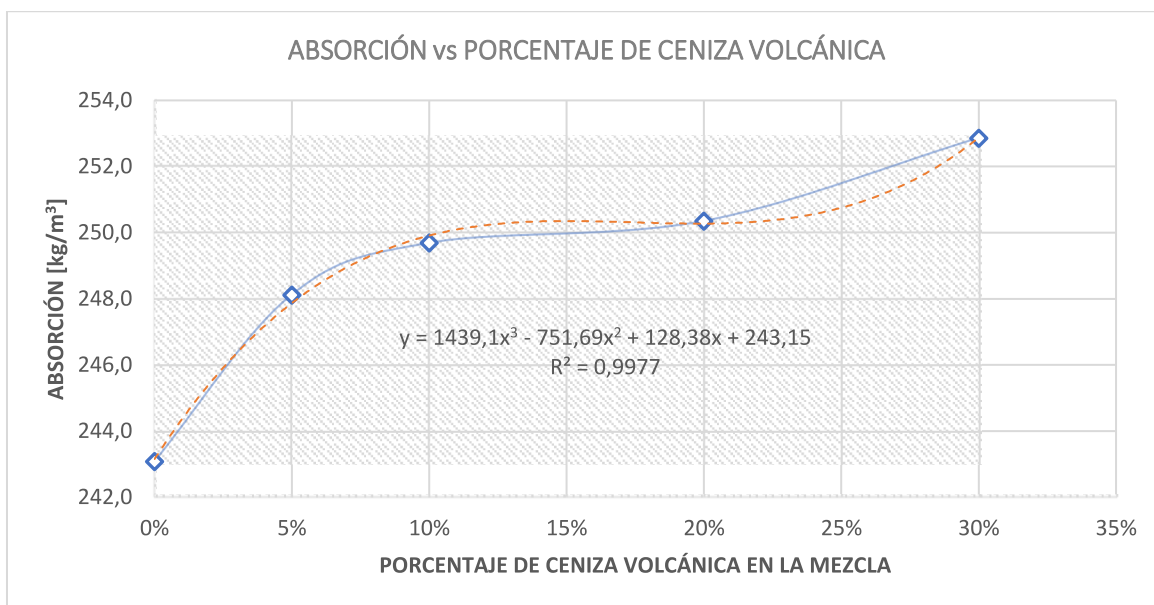


Figura 39: Variación de la absorción al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

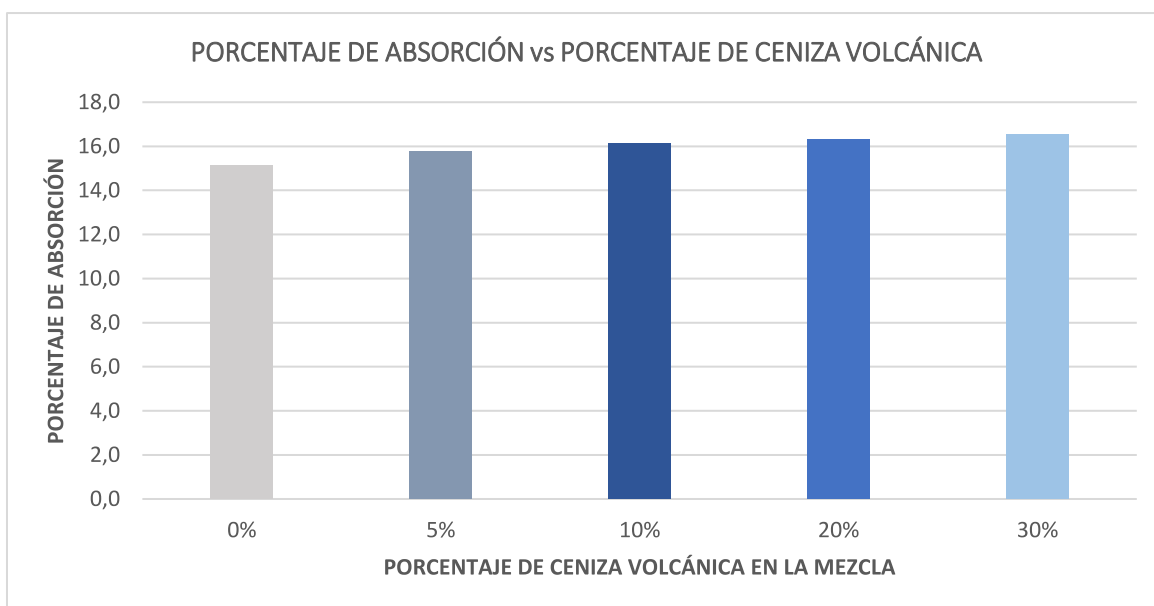


Figura 40: Porcentaje de absorción al reemplazar los distintos porcentajes de ceniza

Elaborado por: Álvaro Criollo y Sebastián Fraga

Como se observa en las figuras anteriores, el comportamiento de la absorción de agua es mínimo. A medida que aumenta el porcentaje de ceniza, aumenta ligeramente la absorción de agua en los bloques. El incremento de la absorción fue de apenas del 1,39% entre el bloque patrón sin ceniza y el bloque con 30% de ceniza.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La dosificación de bloques, se debe realizar mediante el Método II del ACI 211.2, ya que esta toma en cuenta una combinación de agregado liviano (chasqui) con agregado fino de peso normal (polvo azul). Este método se basa en la estimación del contenido de cemento suficiente para lograr una resistencia requerida, lo que se acerca más al método de fabricación de las bloqueras artesanales.
- Al realizar las distintas proporciones de agregados con la misma cantidad de cemento, se establece que al aumentar el polvo azul disminuye la resistencia a la compresión del bloque, mientras que un correcto incremento del chasqui aporta a una mayor resistencia.
- Debido a las características propias de los agregados, no se puede realizar un bloque de tipo estructural que cumpla con la resistencia a compresión, limitando el uso de estos agregados en la elaboración de bloques de paredes no estructurales y de bloques para alivianamiento.
- El bloque patrón obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 5,74 MPa, una densidad promedio de 1605,2 kg/m³ y una absorción promedio de 243,1 kg/m³, cumpliendo satisfactoriamente con los requisitos establecidos para bloques clase B en la normativa INEN 3066.
- Los bloques con el reemplazo del 5% de ceniza, obtuvieron una resistencia promedio a los 28 días de 4,86 MPa, disminuyendo la resistencia un 15% respecto al bloque patrón, por lo que resulta factible la elaboración del mampuesto, ya que cumple con la resistencia promedio de 4 MPa establecida en la norma NTE INEN 3066 para bloques clase B.

- De acuerdo a los resultados mostrados en la **Figura 35**, para obtener la mayor eficiencia en la resistencia de bloques clase B, el porcentaje de ceniza reemplazado en el cemento deberá ser del 8,5% para alcanzar una resistencia promedio de 4 MPa como indica la norma NTE INEN 3066.
- El resultado de la resistencia promedio para bloques con el 10% de ceniza fue de 3,84 MPa, incumpliendo con el requisito de 4MPa de la norma NTE INEN 3066, sin embargo, cumple con la resistencia de 3,5 MPa requerida para cada unidad, como se muestra en la **Tabla 27**.
- Al comparar las resistencias promedio obtenidas en los bloques de fabricación artesanal (3,31 MPa) con los del reemplazo de ceniza del 10% (3,84 MPa), este último supera la resistencia en un 16%, siendo aún factible reemplazar este porcentaje de ceniza, obteniendo un bloque de mejor calidad.
- Al reemplazar el 20% y 30% de ceniza, la resistencia promedio respecto al bloque patrón, disminuyó un 49% y 60% respectivamente, obteniendo valores de 2,90 Mpa y 2,31 Mpa, por lo que estos porcentajes no son factibles para la elaboración de bloques.
- El bloque con el 5% de ceniza ensayado a los 28 días obtuvo una resistencia de 4,86 MPa. Basándose en las características del cemento, se estima que la resistencia a los 7 días es de aproximadamente el 70% respecto a los 28 días, resultando un valor de 3,40 MPa, siendo esta resistencia aún mayor que la resistencia de 3,31 MPa del bloque de fabricación artesanal clase B.
- En base al estado del arte, (Mouli & Khelafi) obtuvieron resistencias a compresión mayores en probetas con ceniza volcánica a partir de los 90 días, con incrementos de hasta el 12 % (dependiendo del porcentaje de ceniza) respecto a los 28 días. Por lo que se espera un incremento en la resistencia de los bloques a una edad mayor.

- Las densidades de los bloques obtenidas para cada muestra con los porcentajes de 5%, 10%, 20% y 30% de ceniza volcánica, fueron 1575,86 kg/m³, 1550,51 kg/m³, 1535,29 kg/m³ y 1528,35 kg/m³ respectivamente, clasificando a los mampuestos como livianos al obtener un valor menor a 1680 kg/m³ como lo establece la norma NTE INEN 3066.
- La NTE INEN 3066 no establece un valor de absorción máximo para bloques clase B, sin embargo, los resultados obtenidos de absorción para cada porcentaje de ceniza volcánica no superan el valor máximo de 288 kg/m³, cumpliendo con los requisitos de absorción para bloques livianos clase A.
- El aumento de la cantidad de ceniza volcánica reemplazada en el cemento conducirá a un aumento de la absorción del bloque y a una ligera disminución en la densidad del mampuesto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda limpiar la máquina mezcladora al finalizar cada mezcla, para que la mezcla adherida en las paredes de la máquina no influya en siguientes pruebas.
- Debido a que la forma en que se extraen los agregados para bloques no está regulada, se debe verificar que estos no contengan material orgánico, de tal manera que no afecte en la calidad del mampuesto.
- En la elaboración del bloque, se recomienda que los tableros para el desmolde tengan una superficie uniforme, ya que esto garantiza que los bloques posean la misma altura.
- Realizar adecuadamente el curado en los bloques principalmente en los primeros 4 días, ya que al usar cemento de alta resistencia inicial, el bloque alcanzará el 70% de su resistencia a los 7 días.

- Verificar que las unidades no tengan ningún tipo de imperfecciones y estén limpias, para realizar los distintos ensayos.
- Se debe realizar un refrentado uniforme en la cara superior e inferior de los bloques, para una correcta distribución de carga y evitar concentraciones de esfuerzos que puedan afectar los resultados de resistencia.
- El área neta utilizada en el cálculo de la resistencia a compresión, debe ser medida directamente en la superficie de carga aplicada en el bloque, dado que al utilizar el área neta promedio establecida en la norma NTE INEN 3066, el valor obtenido, dependerá del peso del bloque.

REFERENCIAS

- ACI 211.2. (1 de Marzo de 1998). Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight. USA: American Concrete Institute.
- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (Enero de 2010). *Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL.
- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eissen, J.-P., Samaniego, P., . . . Yepes, H. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: CORPORACIÓN EDITORIAL NACIONAL.
- ASTM C150/C150M. (1 de Abril de 2020). Standard Specification for Portland Cement. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- ASTM C311/C311M. (1 de Diciembre de 2018). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- ASTM C33/C33M. (Abril de 2018). Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- ASTM C330/C330M. (15 de Junio de 2017). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- ASTM C331/C331M. (Julio de 2017). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- ASTM C595. (Abril de 2018). Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM.
- Bell, J. (1969). *Carriage Age to Space Age: The Birth and Growth of the Concrete Masonry Industry*. Herndon: National Concrete Masonry Association.
- Bigazzi, G., Coltelli, M., Hadler, J., & Osorio, A. (1997). Provenance studies of obsidian artifacts using fission track analyses in South America: An overview. Quito, Pichincha, Ecuador: Noticias de Antropología y Arqueología Mem. 49th Cong. Intern. Americanistas.
- Breitkreuz, C., de Silva, S. L., Wilke, H. G., Pfander, J. A., & Renno, A. D. (2014). Neogene to Quaternary ash deposits in the Coastal Cordillera in northern

- Chile. *Distal ashes from supereruptions in the Central Andes*. Chile: Journal of Volcanology and Geothermal Research 269.
- Cekova, B., Pavlovski, B., Spasey, D., & Reka, A. (2013). *Structural examinations of natural raw materials pumice and trepel from Republic of Macedonia*. Sozopol, Bulgaria: In Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress.
- Díaz, A., & Ramírez, J. (2009). *Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú*. Lima-Perú: INGEMMET.
- Eychenne, J., & Le Pennec, J.-L. (Diciembre de 2012). *Sigmoidal particle density distribution in a subplinian scoria fall deposit*. Bulletin of Volcanology 74:2243-2249.
- Garrison, J., Davidson, J., Hall, M., & Mothes, P. (25 de Abril de 2011). *Geochemistry and Petrology of the Most Recent Deposits from Cotopaxi Volcano, Northern Volcanic Zone, Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: Journal of Petrology.
- Guzmán, F., & Galeas, E. (Noviembre de 2019). *Propuesta de dosificación de hormigón reemplazando el cemento en diferentes porcentajes de peso, con ceniza volcánica del tungurahua; identificando la influencia de utilizar la fracción fina, gruesa y completa*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Hall, M., & Mothes, P. (2008). *The rhyolitic-andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador*. Bulletin of Volcanology 70,675-702.
- Instituto Geofísico - EPN. (22 de Mayo de 2020). *Volcán Cotopaxi - Datos y mapas de amenaza*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/mapas/amenaza-volcanica/mapa-volcan-cotopaxi>
- Malhotra, V. M., & Metha, P. K. (1996). *Pozzolanic and cementitious materials*. Ottawa-Canadá: Gordon and Breach Publishers.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2005). *Concrete microstructure, properties and materials*. California, USA: McGraw-Hill Companies.
- Mouli, M., & Khelafi, H. (27 de Noviembre de 2006). *Performance characteristics of lightweight aggregate concrete containing natural pozzolan*. Algeria: Building and Environment.

- NTE INEN 2380. (2011). Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 2617. (2012). Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 3066. (2016). Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 697. (2010). Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No. 200), mediante lavado. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 855. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.
- NTE INEN 858. (2010). Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Roldán , W., Zetola, V., & Robles, W. (2013). Conglomerantes especiales a base de materiales puzolánicos disponibles en la II Región de Chile. *Revista de Ingeniería Innova*, 87-97.
- Sánchez, E. (2017). Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, colectada en una hacienda en el sector de Machachi, por difracción de rayos X (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente ICP-MS, y sus posibles aplicaciones e impactos. Quito, Pichincha, Ecuador: PUCE.

Santacruz, W., & Velastegui, E. (Abril de 2018). Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Simpson, P. H. (1989). Cheap, Quick, and Easy: The Early History of Rockfaced Concrete Block Building. *Perspectives in Vernacular Architecture, Vol. 3*. Vernacular Architecture Forum.